Aus dem Zoologischen Institut der Universität zu Halle a. S.
Direktor Prof. Dr. V. Haecker.

Über die
Farben der Vogelfedern.

II. Die Färbung der Columba livia nebst Beobachtungen über die mechanischen Bauverhältnisse der Vogelfedern.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der hohen philosophischen Fakultät

der Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

ACAD.
LUGD. BAT.
BIBL.

vorgelegt von

Walter Spöttel
aus Weißenfels.

Halle a. S. 1914.

Aus dem Zoologischen Institut der Universität zu Halle a. S.
Direktor Prof. Dr. V. Haecker.

Über die Farben der Vogelfedern.

II. Die Färbung der Columba livia nebst Beobachtungen über die mechanischen Bauverhältnisse der Vogelfedern.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der hohen philosophischen Fakultät

der Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

vorgelegt von

Walter Spöttel
aus Weißenfels.

Halle a. S. 1914.

Dekan: Prof. Geh.-Rat Prof. Dr. Gutzmer.

Referent: Prof. Dr. Haecker.

Abdruck
aus den
Zoologischen Jahrbüchern. Bd. 38. Abt. f. Anatomie. 1914.
Herausgegeben von Prof. Dr. J. W. Spengel in Gießen.
Verlag von Gustav Fischer, Jena.

Nachdruck verboten.
Übersetzungsrecht vorbehalten.

Über die Farben der Vogelfedern.

II. Die Färbung der Columba livia nebst Beobachtungen über die mechanischen Bauverhältnisse der Vogelfedern.

Von

Walter Spöttel.

(Aus dem Zoologischen Institut der Universität zu Halle.)

Mit Tafel 22 und 70 Abbildungen im Text.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.
Methode.
I_1. Morphologie der Taubenfedern.
a) Bau der Brust- und Kopffedern.
α) Radien.
β) Rami.
b) Bau der Flügeldeckfedern.
c) Bau der Schwung- und Steuerfedern.
α) Radien.
β) Rami.
γ) Schaft.
I_2. Das Verhältnis des Baues zur mechanischen Beanspruchung der Federn.
I_3. Über die systematische Bedeutung der Federstruktur.
II_1. Allgemeines über die Färbung der *Columba livia*.

II_2. Die Strukturfarben.
- a) Das Taubenblau.
  - α) Über die Entstehung des Taubenblaues durch die Staubstruktur.
  - β) Die Entstehung der Staubstruktur.
- b) Das Blaugrau der Wasservögel verursacht durch eine Oberflächenstruktur.
- c) Blau und Blaugrau verursacht durch „Röhrchenstruktur".

II_3. Die Pigmentfarben.
- a) Über Größe, Gestalt und Farbe der Pigmentkörner.
- b) Über die Löslichkeit der Pigmente.
- c) Über die Verteilung der Pigmentkörner.
- d) Über die spezielle Anordnung derselben.
- e) Pigmentkörner und mechanische Beanspruchung.

Einleitung.

Alle mendelnden Eigenschaften werden, vom Standpunkt der modernen Vererbungslehre aus betrachtet, durch Faktoren (Gene oder Elementareigenschaften) erklärt. Im allgemeinen wird ein dominanter Charakter durch die Anwesenheit eines bestimmten Faktors, der korrespondierende rezessive durch seine Abwesenheit bedingt.

Über die Wirkungsweise dieser Faktoren sind wir durch die auf Mendel aufbauende Bastardforschung näher unterrichtet worden, über ihre Natur ist dagegen nichts bekannt. Plate stellt sich die Faktoren als Teilchen von Chromosomen vor, während Bateson, Cuénot, Woltereck u. A. in ihnen im wesentlichen Enzyme von bedeutender Organisationshöhe sehen.

Einer der möglichen Wege, über die Natur der Faktoren Aufschluß zu erhalten, ist die entwicklungsgeschichtliche Analyse der Außeneigenschaften, so wie es z. B. Pernitzsch vor kurzem für die Rassenmerkmale von *Amblystoma* versucht hat. In vielen Fällen wird es aber schon von Wert sein, die Außeneigenschaft selber ihrer Natur nach kennen zu lernen.

Namentlich für Säuger sind bereits Versuche dieser Art gemacht worden. Miss Durham hat z. B. in den Haaren der Mäuse dreierlei Pigmente festgestellt, die keinerlei Farbübergänge aufwiesen. Bei der Wildfarbe finden sich alle drei, schwarzes, schokoladenfarbiges und gelbes Pigment, und zwar in zonenförmiger Anordnung, während bei den farbigen Mutanten nur jeweils ein oder zwei auftreten.

Angesichts der bekannten Kreuzungsversuche, welche Darwin, Staples-Browne u. A. bei Tauben angestellt haben, müßte es von Interesse sein, gerade auch bei Tauben die Zusammensetzung der

„Wildfarbe", das bekannte Taubenblau der *Columba livia*, kennen zu lernen, und zwar besonders deswegen, weil nach unseren Kenntnissen über die Entstehung der Federfarben letztere nicht bloß durch Kombination von besonderen Pigmenten, sondern auch bestimmter Strukturen zustande kommen.

Bei meinen Untersuchungen über die Zusammensetzung des Taubenblaues bin ich dazu geführt worden, die Struktur der Taubenfedern überhaupt einer genaueren Prüfung zu unterziehen. Insbesondere haben sich dabei einige neue Beobachtungen über das Verhältnis zwischen Bau und funktioneller Beanspruchung und über die Rolle, welche das Pigment dabei spielt, ergeben.

Ehe ich jedoch zu den Untersuchungen übergehe, möchte ich nicht verfehlen, Herrn Prof. Dr. Haecker, der mich zu dieser Arbeit angeregt hat und ihr mit Interesse gefolgt ist, meinen herzlichen Dank für seine Hilfe auszusprechen. Ebenso bin ich Herrn Prof. Dr. Brüel für seine wertvollen Anregungen dankbar.

Herr Prof. Dr. Meyer-Freiburg i. B. und Herr Prof. Dr. K. Schmidt-Halle unterstützten mich durch Ratschläge in physikalischen Fragen, während die Herren Dr. Heinroth-Berlin, Direktorialassistent Kniesche-Leipzig, Magistrats-Obersekretär Schachtzabel und Dr. Staudinger mir bei der Beschaffung von Material, Herr Mittelschullehrer Pritzsche bei der Herstellung von Photographien behilflich waren. Allen diesen Herren bin ich für ihre liebenswürdige Unterstützung zu Dank verpflichtet.

Methode.

Die Untersuchungen wurden an Federn unternommen, die gut erhaltenen Bälgen entstammten. Außerdem wurde auch mit Federn gearbeitet, die lebenden Vögeln entnommen waren, um zu zeigen, daß durch die Eintrocknung keine wesentlichen Änderungen bezüglich der Gestalt und Farbe der Pigmentkörner und der übrigen Strukturverhältnisse zustande kommen.

Bei der Bearbeitung des harten und spröden Materials stellten sich Schwierigkeiten in den Weg, auf welche schon Haecker, Strong und Masha gestoßen sind. Haecker hat Xylol-Paraffin-Einbettung, Strong Chloroform-Paraffin- und Masha meist Celloidin-Einbettung verwandt. Bei meinen Versuchen gaben diese Methoden nur vereinzelt gute Schnitte. Ich ging daher dazu über, die Federn sofort in geschmolzenes Paraffin zu legen und dieses schnell erstarren zu

lassen. Durch diese Methode erzielte ich ausgezeichnet dünne Serienschnitte von 2—5 μ. Nur bei hoher Außentemperatur und bei besonderen elektrischen Luftspannungen splitterten die Schnitte auch hier. Für Übersichtsbilder und zum Studium der Lageverhältnisse der Pigmentkörner wurden Schnitte von 10 μ verwandt. Wenn es darauf ankam, daß die Markzellen im Einbettungsmittel möglichst lange mit Luft angefüllt blieben, wurden Schnitte von 20—30 μ hergestellt. Beim Schneiden der harten Hornmasse des Kieles erhielt man nur bei einer Dicke von 10—20 μ gute Schnitte. Aufgeklebt wurden sie mit Eiweiß-Glycerin. Die Schnittrichtung wurde in der Hauptsache senkrecht zu den Federästen geführt, und zwar senkrecht zu den dorsalen oder ventralen Verdickungen der Rami.

Außer der Herstellung von Schnitten wurden auch herausgeschnittene Teile der Fahne direkt auf dem Objektträger untersucht und 1. ohne Einbettungsflüssigkeit, 2. mit Canadabalsam oder 3. mit Glycerin-Gelatine eingedeckt. Das Eindecken ohne Flüssigkeit geschah, um die Strukturfarben, ihre Entstehung und Verteilung auf Rami und Radii zu studieren, da diese mehr oder weniger in den verschiedenen Einbettungsmitteln verschwinden. Die Einbettung in Canadabalsam war zur Feststellung der Pigmente wertvoll. Da der Brechungsexponent des Balsams mit dem der Hornsubstanz fast übereinstimmt, die Hornsubstanz also sehr stark aufgehellt wird, so treten die Pigmentkörner besonders deutlich hervor. Zum Studium der Federstrukturen ist die Einbettung mit Glycerin-Gelatine zu empfehlen, da deren Brechungsexponent niedriger als der der Hornsubstanz ist. Zugleich diente diese Methode dazu, festzustellen, ob bei Anwendung der anderen Methoden eine Veränderung der Pigmentkörner stattgefunden hatte.

Ferner wurden zum genaueren Studium der Verteilung der Struktur, der Pigmente, der Größe, Farbe und Gestalt derselben in den Radien einige Federäste mit ihren Strahlen auf den Objektträger gebracht und mit einem scharfen Skalpell abgeschabt, so daß die einzelnen Radien isoliert wurden. Diese wurden nun wieder in verschiedenen Medien eingedeckt.

Einige andere kleine Versuche sollen im Text Erwähnung finden. Ich beginne mit den allgemeinen Strukturverhältnissen der Taubenfedern.

I_1. Morphologie der Taubenfedern.

Über die Morphologie der Taubenfedern liegen nur wenige Angaben und Abbildungen vor. Masha behandelt in seiner Arbeit

über die Schwungfedern auch die der Tauben, gibt eine genaue Beschreibung der einzelnen Teile der Feder und macht auf einige für den Flugmechanismus bedeutsame anatomische Einzelheiten aufmerksam. Doch sind ihm, wie später gezeigt werden soll, einige diesbezügliche Verhältnisse entgangen.

Ferner gibt CLÉMENT eine mangelhafte Abbildung und Beschreibung der Radien der Brustfedern der Tauben.

Die Radien der Brustfedern zeigen nicht die typische Differenzierung in Haken- und Bogenfasern, vielmehr bestehen sie dicht am Ramus aus einer dünnen schräg gegen den Ramus gerichteten Lamelle, die dorsalwärts in eine fast horizontal gerichtete Verdickung übergeht (Fig. Aa). Kurz hinter der Ansatzstelle des

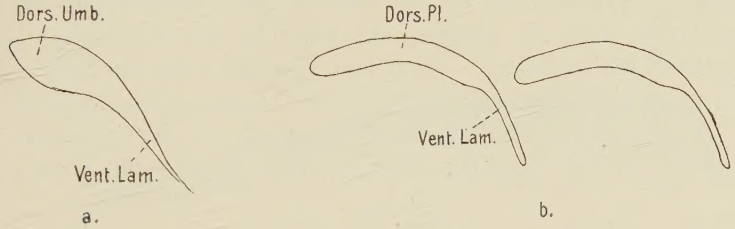

Fig. A.[1]) Querschnitte durch die distalen Radien einer Brustfeder von *Col. livia*. a Querschnitt durch den proximalen Teil; b durch die Mitte eines Radius. *Dors. Pl* Dorsale Platte.

Radius nimmt der dorsale Teil derselben an Größe zu und stellt eine konvex nach oben gekrümmte dicke Platte dar, welche gegen die ventrale Partie scharf abgesetzt ist und mit ihr einen stumpfen Winkel bildet (Fig. A b).

Betrachtet man einen Ramus mit den daran sitzenden Radien in einem Totalpräparat, so sieht man nur die dorsalen nach oben konvex gerichteten Teile der Radii, während die proximalen steil

1) Erklärung der Abkürzungen.

B Becherzellen der Hakenfasern
Bogenf Bogenfaser
Dist Distal
Dors Dorsal
Ges Gesims
H Häkchen der Hakenfasern
Hakenf Hakenfaser
I., II., III. Lam Primäre, sekundäre, tertiäre Ventrallamellen des Schaftes
K Kerne
Lam Lamelle
Pig Pigment
Pl Platte
Prox Proximal
Umb Umbiegung der Bogenfasern
Vent Ventral
Verd Verdickung des Hornes
W Wimpern der Hakenfasern
Z Zähnchen der dorsalen Umbiegung der Bogenfasern

nach unten gerichteten ventralen Lamellen von den folgenden Radii überdeckt werden. (Die Überlagerung der Ventrallamelle durch den dorsalen Plattenteil des nächstfolgenden Radius ist im Querschnitt auf Fig. A b zu sehen.)

Die fast in ihrer ganzen Länge gleichbreiten Radien sind distal abgestutzt und gehen proximal in einen fast scharf abgesetzten Ansatzstiel über.

Infolge dieses dachförmigen Baues, der auch von BIEDERMANN nicht genau erkannt worden ist, wird die nach oben gerichtete Fläche der Radii größer und zusammenhängender.

Die Grenzen der einzelnen Radiuszellen lassen sich deutlich verfolgen. Sie erstrecken sich im proximalen Teil der Radien in gleichmäßig gekrümmtem Verlauf, sowohl über den dorsalen als über den ventralen Teil der Radien, und zwar ist die Konvexität gegen die Radiusspitze gerichtet. Nach dem distalen Teil des Radius geht der Verlauf der Zellgrenzen meist in die entgegengesetzte Richtung über, die in der Ventrallamelle stärker als in der dorsalen Umbiegung hervortritt (Fig. B). Der ventrale Rand jeder Zelle pflegt

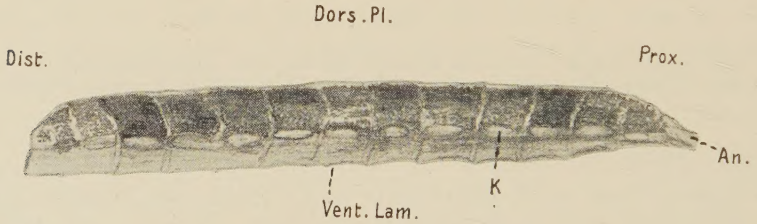

Fig. B. Radius einer Brustfeder von *Col. livia*. Obj. 3, Ok. 12. *An* Ansatzstiel.

eingebuchtet zu sein. An der Stelle, wo der dorsale Teil der Radii in die dünne Ventrallamelle übergeht, bemerkt man in den Zellen ellipsoide Flecke, welche sich durch die ganze Länge der Zellen erstrecken und zweifellos eingetrocknete Zellkerne darstellen.[1])

Die hier beschriebenen charakteristischen Formen der Radii finden sich nur im distalen Federteile, während nach dem proximalen Teil eine allmähliche Differenzierung zu den bekannten Formen der „Bogen- und Hakenradii" zu verfolgen ist. Der dorsale nach oben gewölbte Teil nimmt allmählich an Größe gegenüber der Ventral-

1) Daß es sich bei diesen hellen Flecken um eingetrocknete Zellkerne handelt, haben bei den Radien der Schwungfedern NITZSCH und andere Autoren nachgewiesen.

lamelle ab [1]), und gleichzeitig beginnt sich der Spitzenteil der Radien faserförmig auszuziehen (Fig. C u. D). Diese Umwandlung tritt, wenn man von der Spitze gegen die Basis der Feder fortschreitet, zunächst bei den späteren Bogenradii auf und geht hier schneller vor sich als bei den späteren Hakenradii. In dem Maße, als man von der Federspitze zur Spule fortgeht, schreitet die Reduktion der dorsalen Platte von der Spitze und der Basis des Radius gleichmäßig nach der Mitte fort. Bei den Hakenfasern findet ferner an der

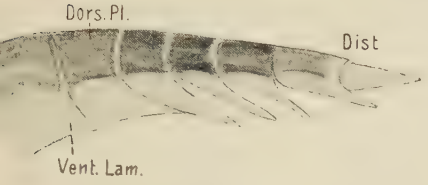

Fig. C.

Fig. D.

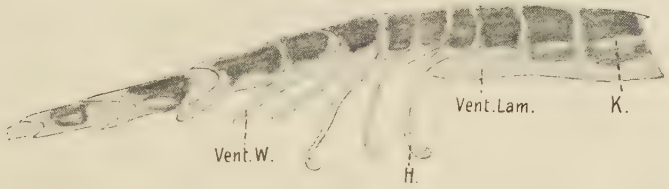

Fig. E.

Fig. C. Bogenfaser einer Brustfeder von *Col. livia*, die den Übergang darstellt von den dachförmig umgebildeten des distalen Federteiles zu den normalen des proximalen Teiles.

Fig. D. Hakenfaser einer Brustfeder von *Col. livia*, die den Übergang darstellt von den dachförmig umgebildeten des distalen Federteiles zu den normalen des proximalen Teiles. *Z* Zähnchen, die sich im proximalen Teil zu Wimpern und schließlich zu Häkchen differenzieren.

Fig. E. Hakenfaser einer Brustfeder von *Col. livia* mit wohlausgebildeten Häkchen.

Spitze des Radius eine Reduktion des Lamellenteils statt (Fig. D), von dem nur noch einige vorspringende Zähnchen erhalten bleiben. Diese Zähnchen, welche erst an der Spitze des Radius sich finden, werden, wenn man weiter nach der Federbasis fortschreitet, infolge der faserförmigen Verlängerung des Radius allmählich nach der Mitte verlagert und differenzieren sich zu Wimpern und schließlich zu Häkchen (Fig. E). Haken- und Bogenfasern greifen jetzt wieder fest ineinander, wie dies bei den Schwungfedern geschieht.

Wir haben also die modifizierten Radien der Spitze der Brust-

1) Ähnlich wie im proximalen Teil der oben beschriebenen Formen (Fig. A).

feder kontinuierlich nach der Basis der Brustfedern in die Bogen- und Hakenfasern übergehen sehen.

Die dachförmigen Radien sind also durch Reduktion ihres distalen Teiles und durch starke Verbreiterung und horizontale Umbiegung des schwachen dorsalen Teiles entstanden.

Was die Rami der Brustfedern anbetrifft, so lassen Haecker's Abbildungen der Querschnitte durch Rami einer rötlichgrauen Brust- und einer grauen Bauchfeder der Tauben den Bau der Feder schon ganz gut erkennen. Haecker bildet bei diesen Querschnitten wie auch bei solchen durch blaue Federn von *Malurus* u. a. ein differenziertes Oberflächenhäutchen, das Epitrichium, ab. Ich konnte aber zeigen, daß ein solches bei den Rami der Taubenfedern nicht existiert und die betreffenden Bilder durch optische Erscheinungen vorgetäuscht werden. Die Erscheinung verschwindet bei scharfer Einstellung des Querschnitts.

Haecker spricht ferner von den birnenförmigen Querschnitten der Rami der Taubenfedern, doch tritt auf seinen Abbildungen dieser Bau weniger deutlich hervor. Die Bezeichnung „birnenförmig" ist besonders für die Ramiquerschnitte durch die distalen Teile der Brustfedern zutreffend (Fig. F). Man erkennt einen breitelliptischen unteren Teil des Ramus, der in einen stielförmigen oberen Ansatz ausläuft. Die Markzellen sind nur im ventralen Teil in Form einer Ellipse eingelagert, der Ansatzstiel besteht aus massiver Hornsubstanz. Die Markzellen sind einreihig oder unregelmäßig mehrreihig ausgebildet. Die Radien setzen ungefähr im unteren Drittel an.

Nach dem proximalen Teil der Federn geht der birnenförmige Querschnitt in einen eiförmigen über, in dem sich der Unterschied zwischen dem dorsalen Stiel und dem ventralen runden Teile ausgleicht und der obere Teil breiter wird (Fig. G).

Dann findet eine immer stärkere Abplattung der ventralen Seite statt, so daß der Querschnitt die Gestalt eines Dreiecks erhält, dessen Ecken, besonders dessen Spitze abgerundet ist (Fig. H). Damit verbunden ist ein Herunterrücken der Ansatzstellen der Radien bis dicht an die ventrale Seite. Die „Gesimse" der letzteren (Masha) entspringen direkt aus der ventralen Seite in Gestalt eines einfachen Hakens.

Der Bau der Rami und Radii der Kopffedern zeigt mit dem der Brustfedern große Ähnlichkeit, jedoch ist bei den Rami die charakteristische, im Querschnitt birnenförmige Gestalt und bei den Radii der dachförmige Typus nicht so ausgeprägt, auch sind

die Häkchen zum Teil noch ausgebildet. Rami und Radii sind also auf Stadien der Umbildung gewissermaßen stehen geblieben.

Wie von der Brust nach dem Kopf zu der typische Bau der Rami und Radii immer weniger ausgeprägt ist, so ist dies auch nach dem Bauch und dem Rücken zu der Fall. Die Rami der Bauch- und Rückenfedern sind im Querschnitt plump eiförmig,

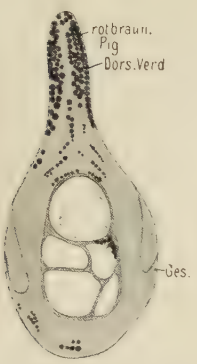

Fig. F.

Fig. G.

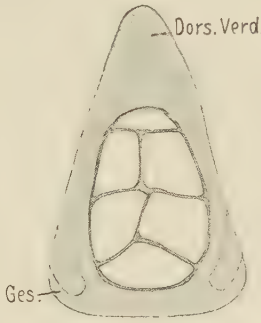

Fig. H.

Fig. F. Querschnitt durch die Spitze eines Ramus einer Brustfeder von *Col. livia.*

Fig. G. Querschnitt durch den Ramus einer Brustfeder von *Col. livia.*

Fig. H. Querschnitt durch die Ramusmitte einer Brustfeder von *Col. livia.*

Fig. J. Querschnitt durch die Basis des Ramus einer Bauchfeder von *Col. livia.*

Fig. K. Ramusquerschnitt einer Flügeldeckfeder von *Col. livia.*

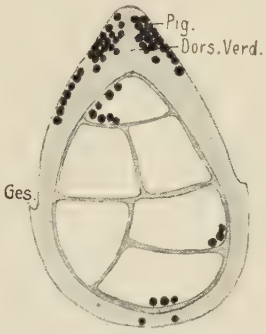

Fig J.

Fig. K.

mit ebenfalls eiförmigem Markraum, während die dorsale Verdickung der Rami weniger scharf hervortritt (Fig. J). Auch bleibt die Umbildung der Radii auf einem Anfangsstadium zu dem dachförmigen Typus stehen, ebenso wie die Umbildung der Rami zu den im Querschnitt birnenförmigen auf einem Anfangsstadium stehen bleibt (vgl. Fig. G u. J).

Die hier beschriebenen Formen finden sich in ähnlicher Weise, wenn auch mit Übergängen zu den Schwung- und Schwanzfedern,

bei den Rami und Radii der Flügeldeckfedern. Während im Spitzenteil der Feder die Struktur mehr an die Bauch- und Rückenfedern erinnert, finden sich im mittleren Federabschnitt, infolge stärkerer Torsion der Hakenfasern und der stärkeren Wölbung der Bogenfasern, Anklänge an den Bau der Schwungfedern.

Auch bei den Rami tritt nach dem proximalen Teil der Feder zu die für die Schwungfedern charakteristische, im Querschnitt keilförmige Ventralleiste hervor (Fig. K).

Was nun die Schwungfedern anbelangt, so weisen die Radien nach MASHA folgenden Bau auf. Im Wurzelteil des Radius ist die ventrale Lamelle dicker als der von ihr deutlich abgesetzte dorsale Teil, und erst allmählich entsteht das umgekehrte Verhältnis (Fig. S). Die ventrale Lamelle endigt in der Mitte der Faser in mehreren großen lappenförmigen Anhängen (Fig. L). Der „Wulst" (MASHA), d. h. der dorsale Teil, setzt sich in einen Abschnitt fort, der in seinem proximalen, aus schmalen und kleinen

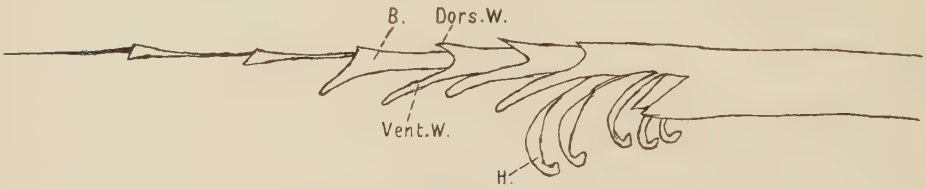

Fig. L. Hakenfaser einer Schwungfeder von *Col. livia* nach MASHA.

Zellen bestehenden Teil auf der ventralen Seite in einen faserförmigen Anhang fortläuft. Von diesen kleinen Zellen entspringen auf der ventralen Seite mehrere bandförmige, im ganzen Verlauf gekrümmte Haken. Diese zeigen eine knopfförmige Endverdickung, welche ihrerseits eine kurze Spitze trägt.

Die Zahl und Gestalt der Haken ist nach MASHA specifisch verschieden. Für die Felsentaube gibt er 4—5 solcher Haken an. Die Form der Haken ist bei der Mehrzahl der Vögel, z. B. auch bei der Felsentaube, kurz und relativ breit, bei den Striges und Caprimulgiden u. a. lang und schmal. Bei *Columba livia* liegen dem Federursprung zunächst die kleinsten Haken, die allmählich in größere übergehen. Jenseits der „Hakenzellen" sendet die Faser nunmehr nach oben und unten Fortsätze, die Wimpern, aus. Die distal von den Haken gelegenen Zellen stecken meist tütenförmig ineinander. MASHA bezeichnet sie als Becherzellen. Die Faser läuft allmählich in einen dünnen Faden aus.

Diesen Angaben Masha's ist noch einiges hinzuzufügen. Vor allem hat er nicht genügend auf den verschiedenen Bau der Hakenfasern im proximalen und distalen Teil der Feder geachtet, sonst wäre ihm aufgefallen, daß die verschiedenen von ihm aufgezählten Typen der Radii innerhalb derselben Taubenschwungfeder kontinuierlich ineinander übergehen. Im distalen Drittel der Schwungfeder der Taube, und zwar in der breiten Innenfahne, umfaßt die distale hakenlose Partie der Hakenfasern nur 5 becherförmige Zellen mit dorsalen und ventralen Wimpern, von denen die letzteren stärker entwickelt sind und gleichmäßig proximalwärts zunehmen (Fig. M).

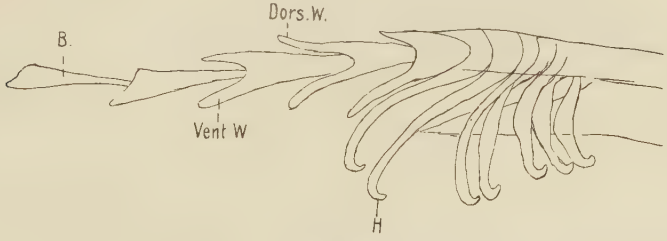

Fig. M.

Fig. N.

Fig. M. Hakenfaser aus dem distalen Drittel der breiten Innenfahne einer Schwungfeder von *Col. livia.*

Fig. N. Bogenfaser aus dem distalen Drittel der breiten Innenfahne einer Schwungfeder von *Col. livia.*

Es folgen 7 Zellen mit stark ausgebildeten Haken, deren Größe proximalwärts abnimmt. Besonders lang sind die beiden am meisten distal gelegenen Haken.

Wie bei den Hakenfasern, so sind auch bei den Bogenfasern die distalen Fortsätze stark reduziert. Die distalen Zellen laufen an der Ventralkante in Spitzen aus, welche teilweise hakenförmig umgebogene Enden besitzen (Fig. N).

Die dorsale Leiste des proximalen Teiles der Bogenfaser zeigt hier deutliche Ausbildung der Zähnchen oder Arretierungsvorrichtungen, wie sie von Masha beschrieben sind.

Im zweiten Drittel der Federfahne tritt eine bemerkenswerte Änderung des Baues nicht auf, nur der distale faserförmige Radiusabschnitt verlängert sich.

Im proximalen Drittel der Innenfahne werden im Endteil des Radius die Wimpern länger und zeigen nunmehr dorsal und ventral die gleiche Ausbildung (Fig. O). Die den Hakenzellen zu-

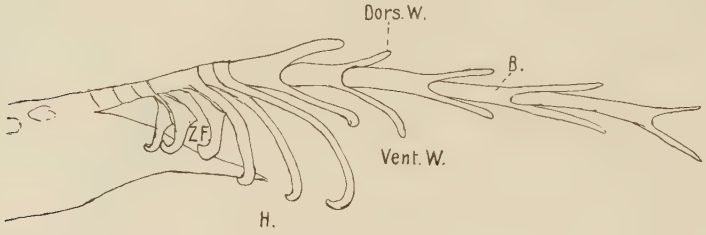

Fig. O.

Hakenfaser aus dem proximalen Drittel der breiten Innenfahne einer Schwungfeder von *Col. livia*.

Z. F Zahnartiger Fortsatz der Haken.

nächst gelegene dorsale Wimper ist beträchtlich verstärkt. Es folgen 6 Hakenzellen, deren Haken proximalwärts kleiner und breiter werden. Die 3 proximalen Haken besitzen einen zahnartigen Fortsatz, den Masha als charakteristisch für *Cuculus* und *Turacuos* bezeichnet hat. Die ventrale Lamelle des proximalen Radiusabschnitts ist distalwärts in eine lange Spitze ausgezogen.

Noch weiter gegen den Spulenteil zu wird die innerste dorsale Wimper lappenförmig verbreitert und legt sich horizontal um über die weiter nach außen gelegenen Wimperzellen, welche jetzt nur noch ventrale Wimpern ausgebildet haben (Fig. N^1). Diese lappenförmige Entwicklung der dorsalen Wimper ist hier ebenso stark wie bei den Radien der Schwungfedern der Cypselomorphen und einigen Wasservögeln, von denen Masha diese charakteristische Ausbildung angibt.

Schließlich, ganz nahe der Spule, sind nur noch 3 Haken, die plump und wenig differenziert sind, entwickelt.

Nahe der Spule tragen in den Hakenradii die Wimperzellen nur noch schwache Wimpern, und zwar ist auch die lappenförmige dorsale

Wimper zurückgebildet. Der äußerste Teil des Radius ist zu einem langen Faden ausgezogen.

In der schmalen Außenfahne sind im distalen Teile die Hakenfasern stärker verkürzt als in der breiten Innenfahne (Fig. P). Die Wimperzellen tragen nur auf der Ventralseite Wimpern. Die Haken sind besonders lang und dünn. An den Bogenfasern sind die Fortsätze der distalen Zellen zu besonders kräftigen Häkchen ausgebildet. Die im distalen Federteil erst langen und schmalen

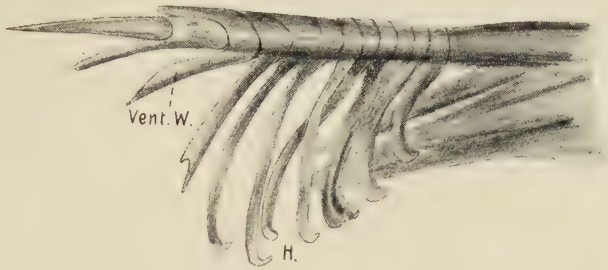

Fig. P.

Hakenfaser aus dem distalen Teile der schmalen Außenfahne einer Schwungfeder von *Col. livia.*

Haken gehen nach dem proximalen Teil in kleine und plumpe über. Die von Masha aufgestellten 2 Gruppen der Hakenfasern mit langen und schmalen und solchen mit kurzen und breiten Haken gehen kontinuierlich ineinander über.

Nach der vorstehenden Beschreibung tritt also in der Schwungfeder gegen die proximalen Abschnitte zu eine Abnahme der Differenzierung hervor, und zwar finden sich bei derselben Feder in kontinuierlicher Reihe alle Formen, welche Masha als typisch für Schwungfedern verschiedener Vögel angibt.

Was die Steuerfedern anbelangt, so zeigt ihr Bau große Übereinstimmung mit dem der Schwungfedern. In der Federspitze weisen die Hakenradii ebenso wie die Schwungfedern 8 lange Haken auf. Bei *Columba palumbus* finden sich sogar 12 Haken, und in den Bogenfasern sind die Endzellen mit deutlich ausgebildeten Häkchen versehen (Fig. Q).

Wie die Radien, so sind auch die Rami der Tauben-Schwungfedern stark differenziert. Nach Masha sind die Federäste seitlich abgeplattete, bandähnliche Gebilde (Fig. R), die bei ihrem Ursprung am Kiel am höchsten sind, in ihrem Verlaufe aber

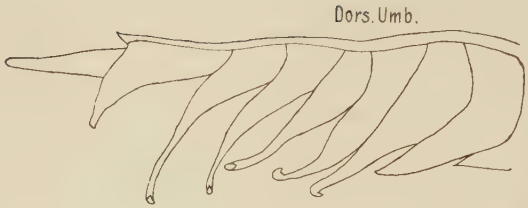

Fig. Q.

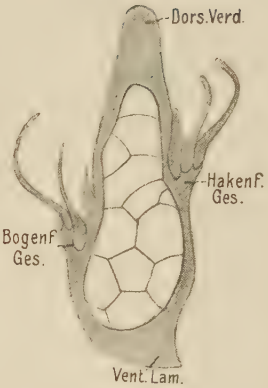

Fig. S.

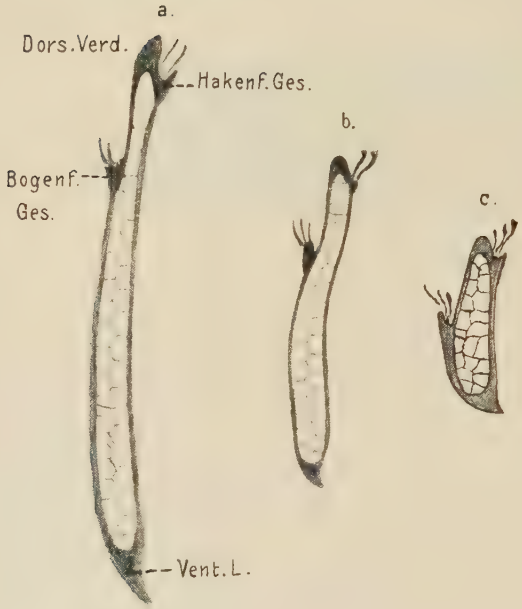

Fig. R.

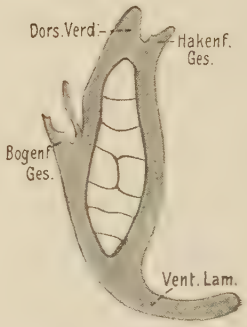

Fig. T.

Fig. Q. Endzellen einer Bogenfaser einer Steuerfeder von *Col. palumbus.*

Fig. Ra—c. Ramusquerschnitte einer Schwungfeder von *Col. livia*, vom proximalen Ende eines Ramus zum distalen fortschreitend. Nach MASHA.

Fig. S. Ramusquerschnitt einer kleinen Schwungfeder von *Col. livia* nach MASHA.

Fig. T. Ramusquerschnitt einer Schwungfeder von *Caprimulgus europaeus* nach MASHA.

an Höhe abnehmen und schließlich in feine Spitzen auslaufen. Sie bestehen im Innern aus einer von großen lufterfüllten Zellen gebildeten Marksubstanz. Diese Markzellen können nach 2 Typen angeordnet sein:

1. Unregelmäßig mehrschichtig, wie in den Rami der Federn der meisten Vögel (Fig. R u. S).

2. Regelmäßig einschichtig, wie in den Rami der Schwungfedern der Caprimulgiden und Eulen (Fig. T). Die Markzellen sind in einer einzigen Schicht übereinander gelagert und nur selten sind unregelmäßig polygonale Zellen eingeschoben, die die sonst einfache Reihe zu einer mehrschichtigen machen.

Diese Aufstellung Masha's gibt die Verhältnisse nicht völlig wieder, da man bei den Rami mit mehrschichtiger Marksubstanz 2 ganz verschiedene Anordnungstypen unterscheiden kann. In dem einen Fall sind die meist fünfeckigen Zellen in 2 regelmäßigen Lagen angeordnet, so daß ihre inneren Zellränder wie die Zellen der Bienenwaben ineinander greifen. Mit zunehmender Breite der Rami nimmt auch die Höhe der Zellen zu (Fig. Ra, b). Übersteigt sie eine gewisse Grenze, so wird zwischen beide Zellenreihen eine dritte eingelagert (Fig. Rc). Letztere Anordnungsweise führt zu den eigentlich unregelmäßig mehrschichtigen Typen mit ungleich großen und ungleich geformten Markzellen.

Diese 3 verschiedenen Typen (einreihig — mehrreihig regelmäßig — mehrreihig-unregelmäßig) finden sich oft in einem und demselben Ramusquerschnitt in allen Übergängen vor (Fig. Ra).

Was nun den allgemeinen Bau des Ramus der Taubenschwungfedern anbelangt, so stellt er, wie Fig. Ra zeigt, eine schwach gewölbte bandartige Leiste dar, deren dorsaler und ventraler Teil etwas verdickt und durch die Seitenlamellen und das Wabenwerk der Marksubstanz verbunden sind. Die Ansatzstelle der Bogenfasern liegt etwas oberhalb des oberen Drittels, in einer flachen Delle; diejenige der Hakenfasern dicht über der dorsalen Verdickung des Ramus. Jene dellenartige Vertiefung des Ramus tritt noch stärker hervor bei Schnitten, die durch die Mitte der breiten Innenfahne gehen (Fig. Rb). Sowohl die Haken- als auch die Bogenfasern erheben sich, wie schon Masha berichtet, aus gesimsartigen Vorsprüngen, welche mit Einschnitten für die Radiuswurzeln versehen sind.

Auf einige Eigentümlichkeiten dieser Gesimse will ich noch hinweisen. Die Gesimse der Bogenfasern stellen sich im Querschnitt als die senkrechte Verlängerung und Verdickung der Seitenlamelle dar und gehen ganz allmählich in die letztere über. Nur in dem distalen Ramusabschnitt, in dem von einer Delle nichts wahrzunehmen ist, ist eine Verstärkung der ganzen anschließenden seitlichen Wand bis zu der ventralen Verdickung des Ramus zu beobachten (Fig. Rc).

Diese Verhältnisse sind bei den Hakenfasergesimsen die gleichen.

Vergleicht man die Höhe der Ansatzstellen der Bogenfasergesimse, so erkennt man, daß sie nach der Spitze des Ramus zu allmählich nach dem ventralen Teile rücken.

Nach MASHA entspringt von der ventralen Verdickung des Ramus eine Hornleiste, die sich bei den Taubenschwungfedern als eine keilförmige Zuspitzung der Hornmasse zeigt. Bei anderen Vögeln ist diese Hornleiste dünn und stark konkav. Zwischen diesen Extremen gibt es verschiedene Übergangsformen.

Fig. V.

Fig. U.

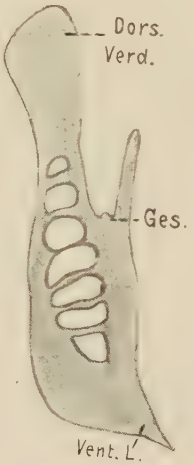

Fig. W.

Fig. U. Ramusquerschnitt aus der Spitze einer großen Schwungfeder von *Col. livia.*

Fig. V. Querschnitt durch die Mitte eines Ramus des distalen Viertels einer Schwungfeder von *Col. livia.*

Fig. W. Querschnitt durch die Spitze eines Ramus des distalen Federviertels.

Da MASHA auf den Bau der Rami in den verschiedenen Abschnitten der Feder nicht eingeht und nur so viel erwähnt, daß vom proximalen zum distalen Teil eines jeden Ramus eine Höhenabnahme und Verbreiterung der Rami stattfindet, so will ich die Verhältnisse näher darlegen.

In der Spitze der Feder ist der Bau und die Höhe der Rami in ihrem proximalen und distalen Teil wenig verschieden. Im Querschnitt stellt der Ramus eine Ellipse dar, die ventral in eine Verdickung der Hornsubstanz ausläuft, die sich in das Gesims

der Bogenfasern unmittelbar fortsetzt. Das Gesims der Hakenfasern findet sich wenig höher gelegen als das der Bogenfasern. Die Markzellen sind gegenüber der Hornmasse klein und rund (Fig. U).

In den weiter proximal gelegenen Teilen der Feder tritt an Stelle des elliptischen ein mehr rechteckiger Querschnitt mit annähernd parallelen Seitenwandungen. Die ventrale Verdickung

Fig. X.

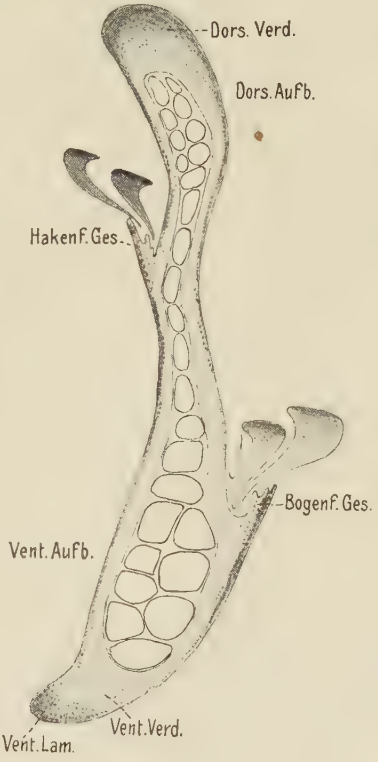

Fig. Y.

Fig. X. Querschnitt dicht an der Wurzel durch einen Ramus in mittlerer Höhe einer Schwungfeder von *Col. livia.*

Fig. Y. Querschnitt durch das distale Drittel eines Ramus in mittlerer Höhe einer Schwungfeder von *Col. livia.*

läuft in einen dicken Hornzapfen aus (Fig. V). Nach der Ramusspitze zu tritt die dorsale Verdickung als eine schwach knopfförmige Wölbung hervor (Fig. W). Die Rami haben an Größe, die Markzellen an Zahl zugenommen, und gleichzeitig rücken die Haken-

und Bogenfasern mehr in den dorsalen Teil des Ramus, wobei die Seitenwände unter den Gesimsen verstärkt werden (Fig. W).

In der Mitte der Feder zeigen die Rami in ihrem proximalen und distalen Teil eine größere Gestaltverschiedenheit. Dicht am Schaft besitzt der Ramus keine Markzellen und stellt sich im Querschnitt als ein schmales, hohes, massives Band dar mit stärker verdickter dorsaler und etwas schwächer verdickter ventraler Kante (Fig. X). In mittlerer Höhe des Ramus zeigt der Querschnitt eine ähnliche Gestalt wie der in Fig. Ra abgebildete.

Weiter distal im Ramus tritt eine mittlere Einschnürung auf, in deren Bereich die Markzellen einreihig und langgestreckt sind (Fig. Y). Die ventrale Aufbauchung des Ramus ist jetzt stärker ausgebildet als die dorsale und besitzt besonders große Markzellen, jedoch ist in beiden Verdickungen die Hornrinde ungefähr gleich dick. Während das „Mittelstück" vertikal gerichtet ist, biegt die dorsale Leiste zuerst leicht nach der einen und dann in der entgegengesetzten Richtung um. Die ventrale Aufbauchung setzt in derselben Richtung wie die dorsale an das Mittelstück an, behält diese aber bei und läuft schließlich in einen keilförmigen Fortsatz aus. Das Gesims der Hakenfasern, das sich etwas unterhalb des oberen Drittels des Ramus findet, bildet die senkrechte Verlängerung der betreffenden, nur wenig verdickten Lamelle des Mittelstückes. Das im unteren Drittel des Ramus liegende Gesims der Bogenfasern zeigt einen massiven Bau und hebt sich stärker von der hier mehr verdickten Hornlamelle des Ramus ab.

Mehr gegen die Ramusspitze hin verlängert sich das Mittelstück. Weiterhin folgen Schnitte, welche die Markzellen der dorsalen Aufbauchung in unregelmäßig mehrreihiger, die wesentlich größeren Zellen der ventralen Aufbauchung in einreihig regelmäßiger Anordnung zeigen.

Schließlich bilden, da das Mittelstück keine Markzellen mehr enthält, die Markzellen der dorsalen und ventralen Verdickung zwei getrennte Gruppen, von denen aber die ventrale ebenfalls allmählich verschwindet (Fig. Z u. A^1).

Hand in Hand damit verlagert sich das Bogenfasergesims immer mehr nach der Ventralseite und das Hakenfasergesims gegen die Mitte zu, wo es gewissermaßen den dorsalen Abschluß der unteren Hälfte des Mittelstückes bildet, das jetzt nur noch wenige Markzellen aufweist. Die ventrale Hornmasse stellt im Querschnitt eine

knopfförmige Anschwellung dar, die sich auf der einen Seite in das Bogenfasergesims fortsetzt (Fig. Z).

An der alleräußersten Spitze ist das vollkommen massive Mittelstück unterhalb der Hakenfaser stärker verbreitert und geht ventral in eine Hornmasse von fast quadratischer Gestalt über, deren eine Seite das Bogenfasergesims bildet. Der Verlauf des ventralen Teiles des Ramus ist der Richtung der ursprünglichen ventralen Aufbauchung entgegengerichtet (Fig. A^1). Erst hatten die Rami die Gestalt eines schwachen Bogens (Fig. Ra), dann die einer schwach gebogenen 3 (Fig. Y) und jetzt die eines schwach gebogenen Fragezeichens (Fig. A^1).

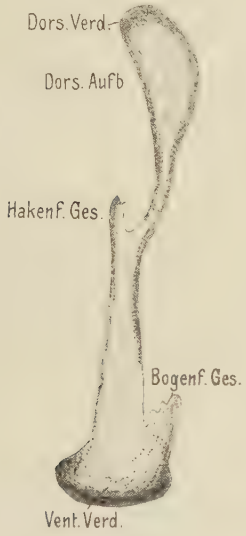

Fig. Z.

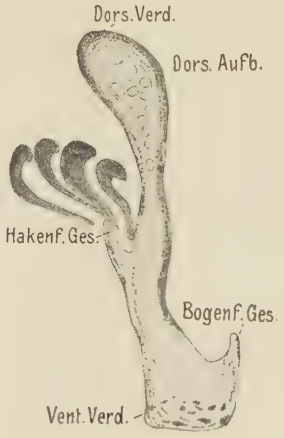

Fig. A^1.

Fig. Z. Querschnitt durch den distalen Teil eines Ramus in mittlerer Höhe einer Schwungfeder von *Col. livia.*

Fig. A^1. Querschnitt durch die Spitze eines Ramus in mittlerer Höhe einer Schwungfeder von *Col. livia.*

Im proximalen Fahnenteil weisen die Querschnitte der Rami im wesentlichen die nämlichen Formen auf, wie sie Masha abbildet (Fig. R).

Bau des Schwungfederschaftes. Auf den Bau des Schaftes der Schwungfedern geht Masha nicht ein und verweist auf die früheren Autoren, besonders auf Ahlborn.

Ahlborn gibt zum ersten Male Abbildungen von Schaftquerschnitten und geht auch auf die funktionelle Bedeutung des Schaftes ein. Nach Ahlborn ist der Querschnitt des Schaftes im Spulenteil eine Ellipse, deren große Achse senkrecht zur Federfahne steht. Beim Übergang von der Spule zum Kiel ist der Querschnitt kreisförmig mit geringer dorsaler Verstärkung der Hornmasse. Die Höhle des Schaftes füllt sich allmählich mit Markzellen. Der Kiel selbst hat einen zunächst rechteckigen, dann allmählich quadratischen Querschnitt. Die dorsale Fläche wird von einer flach gewölbten, kräftigen Hornplatte gebildet, die ventrale trägt eine Längsfurche, welche dachförmig von zwei im Querschnitt keilförmigen Platten bedeckt ist. Die Seitenwände bestehen aus schwachen, ebenen Horntafeln, über welche Rippen schräg hinabgehen.

Nach meinen Beobachtungen zeigt in der Federspitze der Schaft einen ähnlichen Bau wie die Rami. Er stellt eine schwach gekrümmte Leiste dar mit eiförmigem Markraum und starker dorsaler und ventraler Verdickung (Fig. B¹).

Fig. B¹.

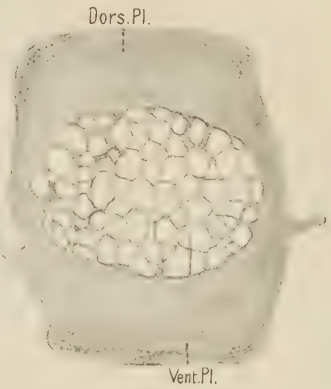

Fig. C¹.

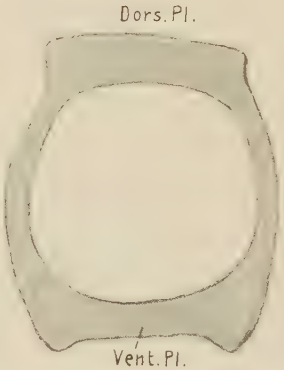

Fig. D¹.

Fig. B¹. Querschnitt durch die Spitze des Schaftes einer großen Schwungfeder von *Col. livia.*

Fig. C¹. Querschnitt durch den distalen Teil eines Schwungfederschaftes von *Col. livia.*

Fig. D¹. Querschnitt durch den distalen Teil eines Schwungfederschaftes.

Proximad geht dieser länglich-ovale Querschnitt allmählich in einen rechteckigen Querschnitt über (Fig. C¹). Im Markraum sind die Zellen in regelmäßigen Reihen angeordnet: in der Medialebene laufen diese Reihen vertikal von der Dorsal- zur Ventralseite. Die

folgenden Reihen sind nach der Mittellinie konvex gebogen. Die dorsale wie ventrale Hornmasse ist von gleich mächtiger Ausbildung, und die erst nach außen gewölbten Seitenplatten stellen ebene Flächen dar. Die 4 Ecken treten allmählich als leichte Verdickungen hervor.

Auf den folgenden proximal gelegenen Schnitten tritt auf der Ventralseite eine schwache Einbuchtung auf (Fig. D[1]), die jedoch wieder ausgeglichen wird. Die Gestalt des ganzen Querschnittes nähert sich einem Quadrat, mit gleich stark ausgebildeten Seiten und hervorgewölbten Ecken (Fig. E[1]). Während die Stärke der

Fig. E[1].

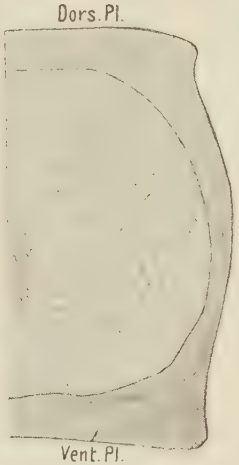

Fig. F[1].

Fig. E[1]. Querschnitt durch das distale Viertel eines Schwungfederschaftes von *Col. livia*.
Fig. F[1]. Beginn der typischen Anordnungsweise der Markzellen im Schaft.

Seitenplatten im Verhältnis zum Durchmesser immer geringer wird, bleibt die Ventral- und besonders die Dorsalplatte stärker ausgebildet.

Eine spez. Anordnungsweise der Markzellen tritt jetzt immer deutlicher hervor, insbesondere konvergieren die von den Seitenstücken der Dorsalplatte herabziehenden Reihen immer ausgesprochener gegen die mediale senkrechte Reihe (Fig. F[1]). An den Seiten sind die Markzellen groß und rund, je mehr sie aber nach der Mitte zu liegen, um so abgeplatteter und kleiner sind sie (Fig. F[1]).

Noch weiter proximal springen von der Dorsalplatte erst 2,

dann 4, 6 oder 8 symmetrisch gelegene senkrechte Hornlamellen in den Markraum vor, welche von der Mitte nach den Seiten an Größe

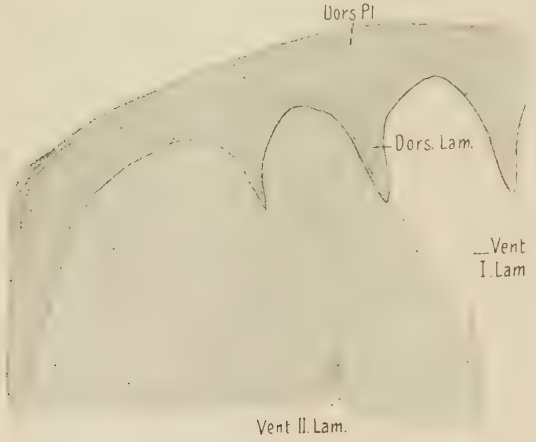

Fig. G¹.

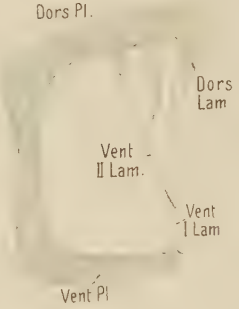

Fig. J¹.

Fig. H¹.

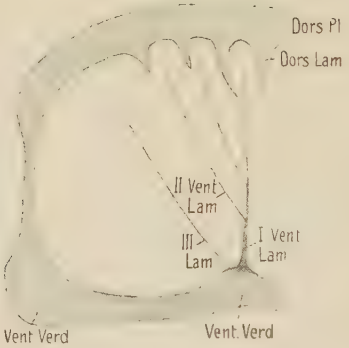

Fig. K¹.

Fig. G¹. Distaler Teil eines Querschnittes durch die Mitte eines Schwungfederschaftes.

Fig. H¹. Ventraler Teil desselben.

Fig. J¹. Querschnitt durch die Mitte eines Schwungfederschaftes.

Fig. K¹. Querschnitt durch den proximalen Teil des Kieles eines Schwungfederschaftes.

abnehmen (Fig. G^1, J^1, K^1). Von der Mittellinie der schwach konkaven Ventralplatte erstreckt sich ein Septum von abgeplatteten massiven Zellen in den Raum zwischen die beiden mittleren dorsalen Lamellen hinein (Fig. J^1). Die Reihen der Markzellen konvergieren nunmehr nicht bloß nach dem ventralen Zellenseptum, welches an Stelle der medianen, dorso-ventralen Zellenreihe (siehe oben) getreten ist, vielmehr sieht man andere Zellenreihen auch gegen die Kanten der dorsalen Septen konvergieren (Fig. G^1). Letztere gehen zum Teil direkt in die ersteren über bzw. strahlen sie in Bogen gegen die Seitenplatten aus oder kehren sogar an die Dorsalplatte zurück (Fig. G^1). Auch von der Basis des Mittelstranges gehen Reihen aus, die nach der Ventralwand zurückgehen oder an der Seitenwand ansetzen (Fig. H^1). Der Winkel, unter dem diese Reihen an den Wänden ansetzen, ist meistens ein rechter (Fig. G^1, H^1). Sind bereits mehr als 2 dorsale Lamellen vorhanden, so erstrecken sich einige Zellenreihen in einem gegen das Markinnere gerichteten Bogen gegen die andere Lamelle. Diejenigen Zellenreihen, welche näher an den Kanten der Dorsallamellen ansetzen, schließen sich dagegen mit dem der benachbarten Dorsallamellen zur Bildung sekundärer Septen zusammen, welche von dem ventralen Hauptseptum schräg nach oben laufen (Fig. J^1). Letzteres tritt Hand in Hand mit der stärkeren Ausbildung der mächtigen dorsalen Septen immer deutlicher hervor und erhebt sich nun von einer leistenförmigen Verdickung der Ventralplatte (Fig. K^1). Während es anfangs aus einer Lage schmaler und kleiner Zellen bestand, bildet es sich nach und nach zu einer soliden Hornlamelle um, deren Zellstruktur zuweilen noch zu erkennen ist. Eine ähnliche Umbildung erfahren die sekundären Septen. Fast alle in Kurven angeordneten Markzellen zeigen eine mehr oder weniger starke Abplattung in der Richtung der Kurven.

Hand in Hand mit der Ausbildung des Lamellensystems geht eine Änderung der Gestalt des Kieles. Die Breite wird nun bedeutend größer als die Höhe. Die dorsale Platte ist stärker nach außen gekrümmt, verdickt sich mehr und mehr, während ihre verdickten Ecken weniger deutlich hervortreten (Fig, G^1, J^1, K^1). Die ventrale Platte dagegen nimmt an Masse ab und behält die Hervorwölbung der Ecken bei (Fig. H^1). Der nach innen gerichtete, das Septum tragende Wulst tritt stark hervor, während sich zu seinen beiden Seiten die Ventralplatte verdünnt (Fig. K^1). Außer den früher erwähnten Septen und Zellenreihen treten jetzt weitere Zellenreihen

hervor, welche von den Seiten des Ventralwulstes nach den Ecken der Dorsalplatte führen (Fig. K[1]). Die Seitenwände haben sich noch mehr verschmälert, trotz der Breitenzunahme des Querschnittes. Das Verhältnis ihrer Wanddicke zum Durchmesser des Kieles ist von 0,2 : 1 auf 0,025 : 1 zurückgegangen.

Geht der Kiel in die Spule über, so rundet sich der Querschnitt immer mehr ab, während die ventrale Einbuchtung anfangs noch erhalten bleibt (Fig. L[1]). Etwas über der Mitte des Querschnitts entsteht ein Raum, der nicht mehr von Markzellen ausgefüllt ist. Nach diesem erstreckt sich das ventrale Septum, während die dorsalen Septen immer mehr zurückgebildet werden. Die Höhlung nimmt allmählich auf Kosten der Markzellen zu. Vom ventralen Hauptseptum gehen immer noch Zellreihen aus, welche gegen den Hohlraum schräg verlaufen. Die mehr seitlich gelegenen Zellenreihen nehmen einen radialen Verlauf.

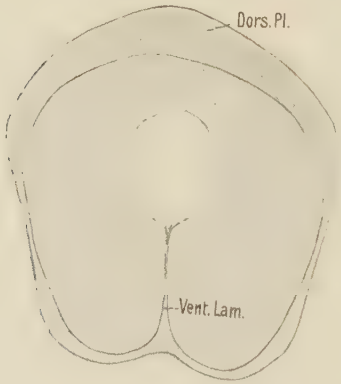

Fig. L[1].
Übergang des Kieles in die Spule.

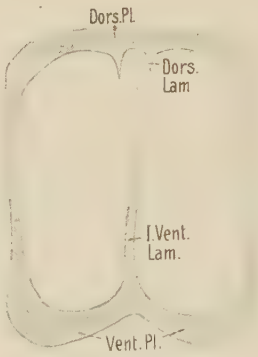

Fig. M[1].
Querschnitt durch die Mitte eines Steuerfederschaftes von *Col. livia.*

Mit der Ausbildung der Höhlung nimmt auch die Wandstärke des Schaftes ab. Der bisher rechteckige Querschnitt des Schaftes wird wieder quadratisch, dann kreisförmig und schließlich oval, während die Markzellen ganz verschwinden.

Die Schäfte der kleinen Schwungfedern und der Steuerfedern zeigen im Bau einen ähnlichen Typus, wie ihn AHLBORN angibt, nur hat dieser hier das regelmäßige Markzellensystem im Inneren übersehen. Der Querschnitt des Schaftes behält bis kurz vor dem Übergang in die Spule die Form eines aufrechten Rechteckes bei (Fig. M[1]).

Das von der Dorsalplatte entspringende Lamellensystem ist bei diesen Formen nur schwach entwickelt. Die äußeren Septen werden gewissermaßen nur angedeutet, während das von der Ventralwand entspringende Zellensystem schon ziemlich weit vom Spulenende eine mächtige, massive Ausbildung erfährt. Dieses Septum erstreckt sich bis dicht unter den Dorsalbalken.

I_2. Das Verhältnis des Baues zur mechanischen Beanspruchung der Federn.

Wir haben nun den Bau der einzelnen Teile der Federn in bezug auf die an sie gestellten mechanischen Ansprüche zu besprechen. Zuvor müssen wir kurz die Wirkung des Luftwiderstandes auf die Flügel betrachten. Aus den Arbeiten von Strasser und v. Parseval geht folgendes hervor:

Da die Rumpf- und Flügelbasis etwas aufgerichtet sind und ihre Unterflächen wie eine Drachenfläche gegen die Luft sich bewegen, so muß ein periodisch wechselnder Luftwiderstand erzeugt werden, der eine vertikale, stets nach oben gerichtete Komponente hat. Der an den Flügeln erzeugte vertikale Luftwiderstand hat offenbar um die Mitte des Niederschlages ein Maximum und vor der Mitte der Hebung ein Minimum.

Ich gehe nun zur Besprechung der Haken- und Bogenfasern über. Ahlborn schreibt über diese folgendes: „Die Fiedern, Häkchen und Zähnchen liegen so dicht über- und nebeneinander, daß sie das Licht nur gedämpft hindurchtreten lassen. In den feinen capillaren Spalten, welche die zahlreichen zarten Gebilde der Federfläche zwischen sich lassen, erfährt die Luft beim Niederschlag des Flügels so bedeutende Widerstände, daß sie unter den herrschenden Druckverhältnissen so gut wie völlig am Durchtritt verhindert wird. So ist es zu verstehen, wenn die Federfahne oder der Flügel geradezu als luftdichte Fläche bezeichnet wird.“ Nach meinen Beobachtungen wird eine luftdichte Fläche auf folgende Weise erzeugt.

Wirkt ein Luftdruck von unten senkrecht gegen die Feder, so werden die nach unten herabhängenden Ventrallamellen der Hakenfasern (Fig. N^1) nach oben, gegen den verdickten, umgekrempten dorsalen Rand der nächstfolgenden Faser gedreht, so daß ein luftdichter Verschluß zustande kommt. Dieselbe Wirkung wird der Druck gegen die Bogenfasern haben, indem auch hier die ventralen Lamellen gegen die dorsalen Umkrempungen der nächstfolgenden

Bogenfasern gedrückt werden (Fig. O¹). Die Bogenfasern, welche annähernd rechtwinklig unterhalb der Hakenfaserreihe des nächstfolgenden Ramus liegen, überdecken, von unten her gesehen, den distalen Häkchen tragenden Teil der Hakenfasern (Fig. P¹). Dabei ist zu beachten, daß in den Bogenfasern und ebenso in den Hakenfasern die dorsalen Leisten und ventralen Lamellen beinahe unter

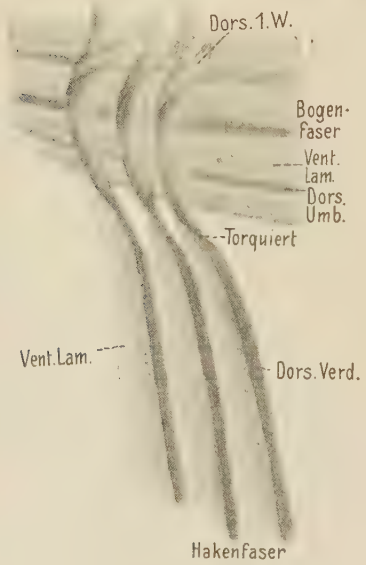

Fig. N¹.

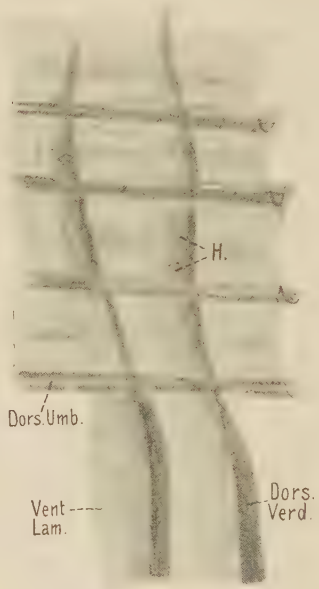

Fig. P¹.

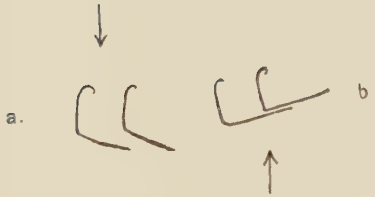

Fig. O¹.

Fig. N¹. Lage der Haken- und Bogenradii. Ansicht von oben.

Fig. O¹. a Öffnung der Lamellen bei einem von oben auf die Federfahne wirkenden Drucke. b Verschluß der Lamellen bei einem Druck von unten.

Fig. P¹. Lage der Haken- und Bogenradii. Ansicht von unten.

einem rechten Winkel gegeneinander gebogen sind. Diese Umbiegung hat einerseits die Bedeutung, daß nur eine geringe Drehung der Ventrallamellen nötig ist, um den vollkommenen Verschluß zu erzielen, andererseits wird durch sie der Durchbiegung der Radien bei starkem Druck mehr Widerstand geleistet, als wenn die Radien die Gestalt von ebenen Bändern hätten.

Der distale Häkchen tragende Teil der Hakenradii ist, wie schon Masha gesehen hat, um etwa 90° gegen den proximalen, mit der Ventrallamelle ausgestatteten Teil gedreht (torquiert) (Fig. N^1 und P^1). Die einzelnen Häkchen ihrerseits sind nun wieder gedreht und liegen quer über der Faser (Fig P^1), so daß sie in die ihnen entgegenkommenden umgekrempten Dorsalleisten der Bogenfasern eingreifen. Das ganze System ist nun derartig ausgebildet, daß unter der Wirkung des von unten kommenden Luftdruckes, welcher in der eben beschriebenen Weise die Drehung der Ventrallamellen und ihre feste Anschmiegung an die Dorsalleisten bewirkt, die Häkchen nicht aus den umgekrempten Kanten der Bogenfasern herausgedreht werden, sondern sich nur strecken, ihre uhrfederartige Krümmung ausgleichen und längs der betr. Krempe nach außen bis zu den Zähnchen gleiten, die schon von Masha als Arretierungsvorrichtungen angegeben worden sind.

Bei einem Druck von oben gegen die Federn werden die Lamellen wieder geöffnet und nach unten gedreht (Fig. O^1a), so daß die Luft ungehindert durch die Spalten passieren kann, die Fasern also der Luft nur geringen Widerstand entgegenstellen.

Es wird also trotz der Vielgliedrigkeit durch eine Jalusievorrichtung eine luftdichte Fläche gebildet. Wir haben hier innerhalb der einzelnen Feder im kleinen ein Gegenstück zu dem bekannten Ventilapparat, welchen die breite Außenfahne und die schmale Innenfahne der Schwungfedern bilden.[1])

Betrachten wir nun die Wirkung des Luftwiderstandes auf Rami und Schaft der Feder. Bei dem Niederschlag ist nun die senkrecht gegen die Federn wirkende Kraft bestrebt, Kiele wie Rami nach oben umzubiegen, bei dem Heben dagegen nach unten, doch ist die Kraft beim Flügelhub, wie wir gesehen haben, viel geringer. Die Wirkung des Luftwiderstandes speziell auf den in einem Grübchen der Knochen eingehefteten Schaft, stellt sich dar als die Belastung eines Balkens, der an einem Ende in horizontaler Lage frei vorstehend eingemauert ist. Wie bei dem Balken durch Belastung eine Biegung hervorgerufen wird, so auch beim Schaft und den Rami. Und ebenso wie in dem gebogenen Balken Zug- und Drucktrajektorien entstehen, welche sich selbst und die Oberfläche senkrecht schneiden, so werden solche Trajektorien auch in dem gebogenen Schaft und dem Ramus entstehen. Die Maxima

1) Vgl. Ahlborn u. A.

der Zug- und Druckspannungen liegen an der dorsalen und ventralen Grenzfläche.

Nach der Mitte des Querschnittes zu gehen die Zug- und Druckspannungen ineinander über (neutrale Faser).

Speziell über die Rami der Handschwingen sagt Ahlborn treffend: „Die Fiederlamellen stehen senkrecht zur Ebene der Federfahne, also hochkantig wie die Deckbalken eines Hauses und infolgedessen ist die Feder besonders dazu geeignet, einem senkrecht zur Federfahne erfolgenden Drucke Widerstand zu leisten und auf diese Weise den Körper zu heben und zu tragen."

Diese hochkantigen Deckbalken sind nun nicht, wie ich ergänzend bemerken will, aus massiver Hornmasse gebaut, sondern sie bestehen, wie oben gezeigt wurde, aus einem Mantel von fester Hornsubstanz, an den sich nach innen zu das maschige Markgewebe anschließt. Aus Materialersparnis ist die wenig mechanisch beanspruchte in der ventralen Faser liegende Füllung aus weniger widerstandsfähigem Material gebaut. Dorsal und ventral, also an den Stellen, wo die Druck- und Zugspannungen am größten sind, wenn die Balken in senkrechter Richtung belastet werden, ist die Rinde in den meisten Fällen stärker verdickt (Gurtungen der Träger), während die Seitenwände nur geringe Stärke aufweisen. Daß die Seitenwände der Rami nur einen geringen Druck und Zug aushalten, erkennt man beim Schneiden der Rami. Schneidet man nämlich senkrecht zu den Seitenflächen, so tritt leichter ein Zerreißen der Schnitte ein, als wenn die Schnittrichtung senkrecht zur dorsalen oder ventralen Verdickung läuft.

Bei weiterer Betrachtung stellt sich nun ferner heraus, daß bei den Federn auch die „vorteilhaftesten Querschnitte", wie sie bei jedem eisernen Träger zur Anwendung kommen, verwirklicht sind, d. h. es soll, wie Gebhardt hervorhebt, mit einem Minimum von Material noch etwas mehr erreicht werden, als den normalerweise zu erwartenden Druck- und Zugmaxima entspricht.

Es können mehrere Typen von Querschnitten diesen Forderungen entsprechen.

Einmal kann die vertikale Achse verlängert sein, da die Festigkeit dem Quadrate der Entfernungen der Gurtungen proportional ist. Hierher gehören die Rami, deren Querschnitt besonders hoch und schmal ist (Fig. R¹a).

Zweitens kann eine Versteifung schmaler Rami durch eine gegen den Schaft gerichtete konkave Biegung erzielt werden (Fig. Ra, Y),

infolgedessen der Ramus wie ein in der Technik verwendetes Rinneneisen wirkt (Fig Q^1d, e). Drittens kann auch die Form von Winkeleisen (Fig. Q^1b, c), welche in höherem Maße als Rinneneisen die Biegungsfestigkeit gewährleisten, kopiert werden. Eine erste Andeutung dieses Typus findet sich bei solchen Rami, deren ventrale, im Querschnitt keilförmige Leiste, etwas nach der Seite abgebogen ist (Fig. R). Ist diese umgebogene Lamelle noch stärker ausgebildet (Fig. S, W), so haben wir ein Gebilde von typischem Bau und ebenso der Funktion eines Winkeleisens vor uns, wobei allerdings auch, im Falle einer sehr starken und schmalen Ausbildung, die von Masha angenommene Bedeutung, nämlich die Herstellung

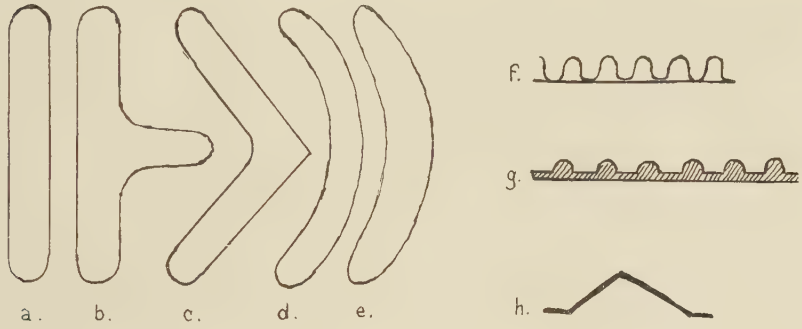

Fig. Q^1 nach Gebhardt.
b, c Winkeleisen; d, e Rinneneisen; f, g Wellblech; h Winkeleisen.

einer zusammenhängenden ventralen Schlußplatte der Rami, in Betracht kommen könnte. Ein besonders schönes Beispiel einer mächtigen Ausbildung dieser „Winkeleisen" zeigen die Ramiquerschnitte der Schwungfedern von *Caprimulgus europaeus* (Fig. T).

Eine noch höhere Biegungsfestigkeit wird durch die Ausbildung der in einer Ebene biegungsfesten einfachen und doppelten T-träger erzielt, wie sie in der Technik bekanntlich vielfache Verwendung finden. Tatsächlich zeigen bei etlichen Vögeln die Ramusquerschnitte der Schwungfedern die Form einfacher T-träger, wie schon Haecker für *Sialia* angedeutet hat. Speziell auch in den mittleren Teilen der Schwungfedern der Tauben nehmen die Ramusquerschnitte gegen die Ramusspitze die Form doppelter T-träger an, wie die Figg. X, Y, Z, A^1 ohne weiteres zeigen. In den mittleren Abschnitten des Ramus besteht die ventrale Gurtung aus fester Hornsubstanz und

einer Markfüllung (Fig. Y), während in den distalen Ramusquerschnitten die ventrale Gurtung im Gegensatz zur dorsalen nur aus massiver Hornsubstanz besteht (Fig. A[1]).

Erwähnt sei noch, daß speziell die im ganzen einer schwachgebogenen 3 oder einem Fragezeichen ähnelnden Ramusquerschnitte, ähnlich den beim Häuserbau verwendeten S-Eisen, ein besonders hohes Maß von Zug- und Druckfestigkeit gewährleisten.

Wird die Feder konstant nur nach einer Seite auf Druckfestigkeit beansprucht, wie dies im Gegensatz zu den Schwungfedern z. B. bei den Brustfedern der Fall ist, so wird ähnlich wie in der Technik bei einseitiger Druckbelastung von Hohlröhren, die Druckseite verstärkt. Es entstehen auf diese Weise birnenförmige Querschnitte, die den birnenförmigen Ramiquerschnitten der Brustfedern ähnlich sind (vgl. Fig. F, G und Fig. 1—3 mit Fig. R[1]).

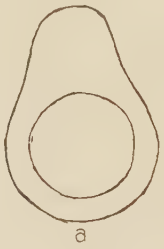

Fig. S[1].

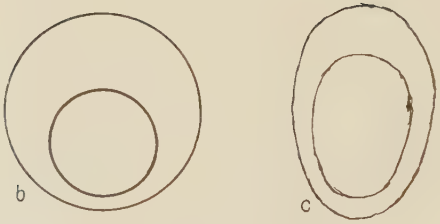

Fig. R[1].

Fig. T[1].

Fig. R[1]. Nach GEBHARDT. Hohlröhren für einseitigen Druck.

Fig. S[1]. Nach HABERLANDT. Schematischer Querschnitt eines Blattes von Phoenix dactylifera.

Fig. T[1]. Wirkung eines Druckes auf einen Hohlzylinder.

Infolge der besonderen Form und Anordnung der Bogen- und Hakenfasergesimse, welche, wie wir sahen, meist einer Biegung des ganzen Ramus aufsitzen und gewissermaßen nur die dorsale Verbreiterung der Seitenwandung darstellen (Fig. R a u. b), wird der auf die Radi ausgeübte Druck und Zug unmittelbar auf den ganzen Ramus übertragen. Nur wenn die Biegung des Ramus nicht vorhanden ist und die Gesimse sich stärker von der Wand abheben, machen die auf das Gesims lastenden Kräfte eine besondere Verstärkung der anschließenden ventralen Seitenwand notwendig (Fig. R c). Da außerdem nach der Spitze der Rami zu die Haken- und besonders die Bogenradii ventralwärts rücken, so werden die durch den Niederschlag erzeugten Zugkräfte in der ventralen Gurtung selber kompensiert.

Die Gesimse selbst können auch zur Versteifung der Seitenwandungen dienen, so wie in der Technik dünne Platten durch angesetzte Rippen oder Leisten gegen Biegung versteift werden oder wie bei manchen Pflanzen durch Ausbildung von Dornen und Zapfen eine Versteifung dünner Seitenwandungen erzielt wird (z. B. bei Phoenix dactylifera) (Fig. S^1).

Die stärkere Belastung eines Balkens ist immer mit einer Änderung seines Querschnittes verbunden, die die Elastizitätsgrenze nicht überschreiten darf. Speziell bei einem Balken von der Gestalt eines hohen und schmalen Ramus, dessen Kanten verdickt sind, wird bei einer stärkeren Belastung eine Wölbung der dünnen Seitenwände nach außen hin stattfinden (Fig. T^1), wie eine solche auch auf Schnitten senkrecht zu den Gurtungen des Ramus zuweilen als Wirkung des Messerdruckes zu beobachten ist. Zur Erhaltung des Querschnittes dienen nun die Markzellen, die, wie wir sahen, sich meist in sehr charakteristischer Anordnung zeigen und infolgedessen als sekundäres Stützsystem dienen. Man wird bei der Anordnungsweise der Markzellen ohne weiteres an die durch quergestellte Diaphragmen gefächerten Luftgänge von Papyrus, Juncus u. a. erinnert (Haberlandt).

Bei den breiteren Rami der Handschwingen vieler Vögel genügt die regelmäßig einschichtige Anordnungsweise nicht mehr zur Aufrechterhaltung des Querschnittes, die Markzellen sind dann in zwei regelmäßig ineinander geschachtelten Reihen (Fig. R a, b) oder bei noch stärkerer Verbreiterung des Querschnittes in drei Reihen unregelmäßig angeordnet (Fig. R c).

Je mehr eine Feder als Flugwerkzeug dient, um so ausgeprägter

ist die beschriebene Anordnungsweise der Markzellen, und zwar hängt, wie wir kurz zusammenfassen können, die Art der durch die Marksubstanz bewirkten Unterstützung einerseits von der Beschaffenheit der Seitenwandung, andrerseits von der Breite des Ramusquerschnittes ab.

Die Rami finden ihr Widerlager im Schaft. Sie setzen sich in die von Ahlborn erwähnten Rippen fort, die an den Seiten des Schaftes von der Dorsal- zur Ventralplatte ziehen. Auf diese Rippen werden also in erster Linie die von den Rami ausgeübten Zug- und Druckkräfte übertragen, sie stellen demnach eine wirksame Versteifung der Seitenwandung dar, ähnlich wie die Gesimse an den Rami.

Ahlborn sagt über die Funktion des Schaftes: „Die Natur hat einen elastischen Träger von vorzüglicher Beschaffenheit unter minimalem Substanzverbrauch geschaffen. Man erkennt, daß die gewölbten Horntafeln der Ober- und Unterseite sowie die hochkantig stehenden Seitenplatten geeignet sind, einen senkrecht zur Flügelfläche erfolgenden Druck auszuhalten, während ein seitlicher Druck leichter eine Durchbiegung hervorrufen würde.“ Das Verhältnis der vertikalen zur horizontalen Biegsamkeit ist nach Ahlborn z. B. bei einer Schwungfeder von *Aquila fulvus* 4 : 9.

Bei den Federn der Handschwingen der Felsentaube liegen nach meinen Beobachtungen die Verhältnisse folgendermaßen: der Schaft stellt einen rechteckigen Balken dar, der eine weniger stabile Füllung und eine starke dorsale und ventrale Platte aufweist, welch letztere infolge einer schwachen Einbuchtung das Aussehen und die Funktion eines Welleneisens aufweist (vgl. Fig. D^1, J^1 u. Q^1f, g).

Da wo der Schaftquerschnitt ein Quadrat darstellt, wölben sich, wie oben gezeigt, die Ecken stark hervor (Fig. E^1). Diese Anordnung der Hornsubstanz repräsentiert die einfachste Form eines mechanischen Systems in einem zylindrisch biegungsfesten Organ. Es stellt die Kombination zweier Doppel-T-Träger dar, die die neutrale Achse gemeinsam haben. Die einzelnen Gurtungen werden unter sich durch tangentiale Verbände, die Dorsal-, Ventral- und Seitenplatten, zusammengehalten. Eine überraschend enge Parallele findet diese Ausbildung im Aufbau der quadratischen Stengel der Labiaten, in denen das biegungsfeste Bastmaterial auch in den hervorgewölbten Ecken ausgebildet ist (Haberlandt, Fig. U^1).

Während im proximalen Schaftteil auf der Dorsalseite die Gurtungen zu einer massiven stark gewölbten Platte verschmolzen sind, bleiben auf der Ventralseite die Gurtungen erhalten. Der Schaft-

querschnitt erinnert dann an den Querschnitt einer Ranke von Cyclanthera explodens, deren dorsale Seite stark gewölbt ist und ein balkenförmiges Bastbündel einschließt, während in den ventralen Ecken Bastgurtungen ausgebildet sind (Haberlandt, vgl. Fig. J^1 u. U^1).

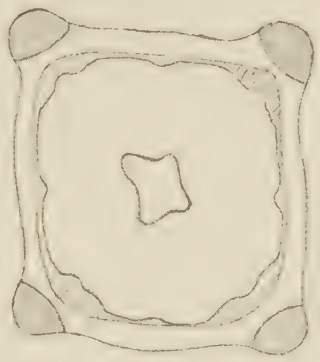

Fig. U^1.

Nach Haberlandt. Schematischer Querschnitt durch ein Stengelinternodium von Lamium album. In den 4 Ecken Collenchymgurturgen.

Die Wölbung der Dorsalplatte des Schaftes bedingt schon ein gewisses Maß von Biegungsfestigkeit in der dorsoventralen Richtung. Verstärkt wird diese noch erheblich durch das in das Innere ragende Dorsallamellensystem. Diese allmählich aus der Dorsalplatte entspringenden massiven Hornlamellen geben der ganzen Dorsalseite das Aussehen einer nach außen konvexen Wellblechkonstruktion und haben mit dieser eine hohe Biegungsfestigkeit in der Richtung der Lamellen gemein (Fig. Q^1g, h u. G^1, J^1, K^1). Solche Wellblechkonstruktionen finden sich auch im Bau der Käferflügeldecken und in Stengelprofilierungen von Pflanzen in anderer Form wieder (Gebhardt).

Fig. V^1.

Nach Haberlandt. Schematischer Querschnitt durch eine Ranke von Cyclanthera explodens. Dorsaler Collenchymbalken und ventrale Collenchymgurtungen.

Während nach dem proximalen Teil des Schaftes die Dorsalplatte durch Ausbildung der Wellblechkonstruktion verstärkt wird, erfährt die Ventralseite durch Ausbildung einer Gurtung in der Mitte der Seite eine Versteifung (Fig. K^1).

Dorsal- und Ventralseite sind also biegungsfest gebaut, die Seitenwandungen des Schaftes dagegen sind nur wenig widerstandsfähig gegen Zug- und Druckkräfte. Das Verhältnis der Dicke der Seitenwandungen zum gesamten Durchmesser des Schaftes sinkt allmählich von 0,2 : 1 bis auf 0,025 : 1. Bei diesen kombinierten Gurtungen, wie sie der Schaft darstellt, darf die Wanddicke ein Mindestmaß nicht überschreiten, da sonst durch Querspannungen, die bei der Belastung auftreten, leicht ein Einknicken der dünnen Wandungen erfolgen kann.

Wie in den Rami so wird auch im Schaft durch eine besondere Anordnungsweise der Markzellen ein Aussteifungssystem erzielt. Bei den Pflanzen bestehen diese Einrichtungen in den oben erwähnten Diaphragmen oder bei Cyperaceen in häufig verzweigten Zellfäden, welche im ganzen in der Querrichtung verlaufen (Haberlandt). Wie im Knochen die Havers'schen Lamellen in sogenannten Spannungstrajektorien angeordnet sind, so sind auch hier die Markzellen in bestimmten Zug- und Druckrichtungen aneinander gereiht. Die erste Andeutung einer solchen Anordnung der Markzellen findet sich ungefähr dann, wenn die Dicke der Seitenwandung des Schaftes ein Zehntel des Schaftdurchmessers beträgt (Fig. C^1). Bei fortdauernder Abnahme der Stärke der Seitenwandungen tritt auch die Anordnung der Markzellen deutlicher hervor.

Die Hauptrichtung, in welcher die Markzellen im Querschnitt beansprucht werden, liegt in der Medianebene des Schaftes, und hier finden sich demgemäß besonders ausgeprägte dorso-ventrale Reihen von Markzellen. Entsprechend den nach den Seiten umbiegenden Spannungskurven nehmen die anderen Reihen von Markzellen einen gebogenen, nach der Mittellinie der Seitenplatte gerichteten Verlauf. An den Stellen größter Beanspruchung, nämlich in der Mittellinie, findet eine Anhäufung von widerstandsfähigem Material statt, d. h. die Markzellen werden in der Richtung ihrer hauptsächlichen Beanspruchung abgeplattet, sie werden lang und schmal, auch kleiner und zum Teil mit fester Hornsubstanz ausgefüllt, während sie an den Stellen geringerer mechanischer Beanspruchung noch groß und kuglig sind (Fig. F^1 u. G^1). Bei den Knochen ist an den Stellen größter Beanspruchung eine Verdickung oder Ausfüllung der Rundmaschenspongiosa zu beobachten (Gebhardt).

Diese allmählich immer mehr verhornte Ventrallamelle springt mit ihren sekundären Lamellen in die zwischen den dorsalen Lamellen gelegenen Ausbuchtungen des Markraumes vor (Fig. J^1 u. K^1), so daß ein Querschnittsbild entsteht, das an ein Blatt mit den in die Blattlappen hineinragenden Seitenrippen erinnert.

Indem nun die sekundären Lamellen durch weitere Zellenreihen mit den dorsalen in Verbindung stehen (s. oben S. 23 u. Fig. G^1), wird ein auf die Mitte der Ventralwand wirkender Druck über die primären und sekundären Ventrallamellen und die eben genannten Zellreihen nach der Dorsalplatte geleitet und so eine Versteifung des ganzen Querschnitts erzielt.

Endlich wird durch die von den Lamellen der Dorsal- und

Ventralplatte gegen die Dorsal- und Ventralplatte selbst, zum großen Teil aber gegen die Seitenwandungen ausstrahlenden und dort fast senkrecht ansetzenden Zellreihen, eine wirksame Unterstützung der schwachen Seitenplatten und ihre stabile Verbindung mit der massiven Dorsal- und Ventralplatte hergestellt, so daß sie gegen Einknickung geschützt sind.

Der rechteckige Querschnitt des Kieles geht in der Spule in einen kreisförmigen und schließlich elliptischen über (Fig. R^1). Diesen Formen entspricht eine Biegungsfestigkeit, auf die schon Ahlborn hingewiesen hat. Auch hier erkennt man wieder, daß der Schaftquerschnitt dieselbe Gestalt hat wie der Querschnitt durch einseitig biegungsfeste Röhren, die in der Technik Verwendung finden (vgl. Fig. L^1 u. R^1). Die Markzellen sind den Zug- und Druckkräften entsprechend mehr und mehr radiär angeordnet.

In den Schwanzfedern ist infolge der nach außen stark ausgebildeten „Welleneisenkonstruktion" der Ventralseite die innere „Wellblechkonstruktion" der Dorsalseite zurückgebildet (Fig. M^1). Infolge der vertikalen Vergrößerung des Querschnitts und der Verdünnung der Seitenwände ist hier ferner das sekundäre Stützsystem der Markzellen stark ausgebildet, und besonders ist der Mittelstrang vollkommen massiv und mächtig gebaut. Wie die in der Fahrradindustrie und Flugtechnik verwendeten Röhren, welche vielfach im Interesse einer stärkeren Biegungsfestigkeit durch eine Scheidewand geteilt werden, so erscheint auch im Kiel der Schwanzfedern durch die stark entwickelte Ventrallamelle der Markraum halbiert.

I_3. Über die systematische Bedeutung der Federstruktur.

Haecker hat die Frage berührt, ob vielleicht die Form der Ramusquerschnitte eine systematische Bedeutung haben kann, und hat darauf hingewiesen, daß sich die im Querschnitt birnenförmigen Rami sowohl bei den Federn der *Columbae* als auch bei denjenigen der Lari-Limicolae, die von neueren Systematikern in eine nähere Beziehung gebracht werden, vorfinden.

Ich habe aber festgestellt, daß schon innerhalb der einzelnen Federn die Ramusquerschnitte je nach ihrem Abstand vom Schaft verschieden und daß diese verschiedenen Formen durch Übergänge verbunden sind.

Insbesondere ist zu konstatieren, daß bei Vertretern aus allen Ordnungen, namentlich in den Brustfedern, die Rami birnenförmige Querschnitte aufweisen; jedoch ist die Ausbildung der Birnenformen bei den verschiedenen Vögeln nicht immer gleich ausgeprägt.

Als Beispiele führe ich die plump birnenförmigen Querschnitte der Rami von *Podiceps*, *Anas* und *Turdus* (Fig. W¹) und die wie bei den Tauben (Taf. 22 und Fig. F) ausgebildeten Ramiquerschnitte bei *Phytotoma*, *Pithylus* und *Falco* an (Fig. Y¹). Zwischen diesen beiden extremen Formen liegen die Ramusquerschnitte der Brustfedern von *Perdix petrosa* und *Mergus* u. a. (Fig. X¹). Die Zahl dieser Beispiele ließ sich noch beliebig vermehren.

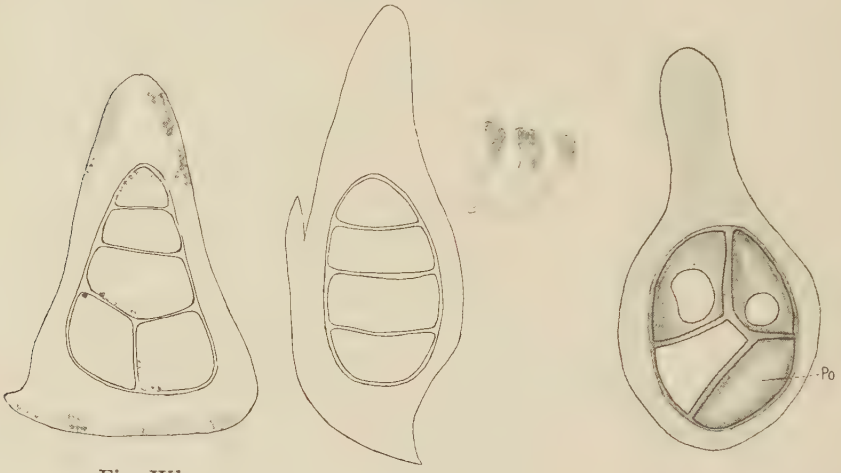

Fig. W¹. Fig. X¹. Fig. Y¹.

Fig. W¹. Ramusquerschnitt einer grauen Brustfeder von *Turdus*.
Fig. X¹. Querschnitt durch eine graue Brustfeder von *Mergus merganser*. Ramus pigmentfrei.
Fig. Y¹. Querschnitt durch den Ramus einer grauen Brustfeder von *Pithylus leucophaeus*.

Daß jedoch der Bau der Federn für die systematische Stellung der Vögel keine wichtige Bedeutung hat, kann man auch sehr gut erkennen, wenn man die Querschnitte der Schwungfedern vieler Vögel vergleicht. Wir finden hier mehr oder weniger bei allen Ordnungen den schmalen lamellenartigen Bau der Rami wieder. Je höher ausgebildet das Flugvermögen ist, um so mehr finden sich auch noch Differenzierungen in den einzelnen Rami (z. B. Ventralleiste).

II_1. Allgemeines über die Färbung der Felsentaube.

Bekanntlich sind die Farben der Vogelfedern entweder objektive Absorptions-Pigmentfarben oder optische subjektive Strukturfarben.

Letzteren liegt kein entsprechend gefärbtes Pigment, sondern Strukturverhältnisse bestimmter Art zugrunde. Zu ihnen gehören u. a. die rötlich und grün schillernden Federn am Nacken, Hals und Vorderbrust der Felsentaube.

Sie beruhen auf bestimmter Struktur der Radii und sind nach Brücke und Biedermann als Farben dünner Plättchen zu betrachten. Biedermann führt als Parallele die Hohlschuppen der *Apatura* an. Für die Untersuchung sind die weißen Halsfedern der Ringeltaube, die keine störende Pigmentierung aufweisen, am besten geeignet.

Schon Haecker hat 1890 feine Linien auf den Radien festgestellt und hat vermutet, daß die rötliche oder grüne Schillerfarbe durch Beugung des Lichtes entsteht.

In der Tat erkennt man, daß der Schiller bei den genannten Halsfedern an diese Linien gebunden ist, die sich als parallel zu den Längswänden verlaufende Rillen darstellen, die oft auch miteinander in Verbindung stehen. Von einigen dieser Linien wird stark weißes Licht reflektiert, von anderen rotes, das bei Drehung des Objektträgers in grünes übergeht. Die Linien, die stark weißes Licht reflektieren, werfen auch bei der Drehung des Objektträgers nur solches zurück. Von der Breite dieser Rillen wird es offenbar abhängen, ob grünes und rotes oder weißes Licht reflektiert wird, und von der Richtung des reflektierten Lichtes ist der Umschlag von Grün zu Rot abhängig.

Diese Rillen könnte man vielleicht durch Schrumpfung oder Eintrocknung bei der Verhornung der Feder erklären, da die Schillerfarben erst einige Zeit nach völliger Entwicklung der Feder auftreten. Wie Gebhardt berichtet, können z. B. durch Eintrocknung von Kolloiden prachtvolle Schillerfarben entstehen.

Dieser Rot- und Grünschiller findet sich nur an den Radien der Halsfedern, und zwar nur an denjenigen, die dachförmig modifiziert sind, während sämtliche übrigen bei *Columba livia* vorkommenden subjektiven und objektiven Farben an keine bestimmte Gestalt der Rami und Radii gebunden sind.

Das Hauptmerkmal der Felsentaube ist nun nach Darwin nicht diese auch bei anderen Taubenarten vorkommende Schillerfarbe, sondern die schieferblaue oder „taubenblaue“ Gesamtfärbung, ferner die beiden quer über die Flügel laufenden schwarzbraunen Binden, der weiße oder blaue Bürzel, die breite schwarze Binde des Schwanzes und die teilweise weiße Außenfahne der äußersten Steuerfeder.

Darwin sagt, daß sich diese Kombination der verschiedenen Merkmale bei keiner anderen Taube findet.

Das Taubenblau soll nun einer näheren Untersuchung unterworfen werden.

II_2. Die Strukturfarben.

a) Das Taubenblau.

Nach Haecker (1890) und Haecker u. Meyer (1900) ist die blaue Farbe der Vogelfedern mit nur einer Ausnahme (*Cyanoteron*) als eine optische Farbe aufzufassen, und zwar als eine Farbe trüber Medien. Das trübe Medium wird nach Haecker gebildet durch die Durchsetzung gewisser modifizierter Markzellen, der „Kästchenzellen", mit Luftkanälchen.

Das reine Blau zeigt ein gruppenweises, sporadisches Auftreten in den einzelnen Vogelfamilien. Bei einigen, z. B. den Tauben, findet es sich nach Haecker fast oder überhaupt gar nicht. Bei den Tauben soll der Grund für die große Seltenheit einer eigentlichen Blaufärbung in der Gestalt der Rami liegen, welche bei birnenförmigem Querschnitt an der Oberseite eine starke Rindenschicht aufweisen, so daß die Ausbildung und optische Wirkung jener Luftzellen verhindert würde. Diese Ansicht Haecker's ist dahin zu modifizieren, daß allerdings ein leuchtendes Blau in birnenförmigen Rami nicht erzielt wird, daß aber doch bei verschiedenen Vögeln, auch wo die Federäste die erwähnte Beschaffenheit haben, die Kästchenzellen noch ausgebildet sein können, so daß eine gewisse Menge von blauen Strahlen reflektiert wird.

Auf diese Weise wird z. B. ein Blaugrau in den im Querschnitt birnenförmigen, dorsal mit einem Hornknopf versehenen Rami der Schwanzfedern von *Prion vittatus* und *Pithylus leucophaeus* erzielt (Fig. Y^1). Auch die Rami der Brustfedern von *Malaconotus olivatius* und *Phytotoma rutila* zeigen eine ähnliche Gestalt und bereits eine deutliche Differenzierung der Kästchenzellen, so daß sie ein Milchweiß, d. h. ein Weiß mit einem Zuschuß von blauen Strahlen, reflektieren. Endlich zeigen die grünen im Querschnitt birnenförmigen Rami von *Fringilla* gutentwickelte Blaustruktur.

Von Interesse ist nach Haecker, daß in den wenigen Fällen, wo ein ausgesprochenes Blau bei Tauben zur Entwicklung gekommen ist, der Sitz der Blaufärbung nicht die Rami, sondern die Radii sind.

Bei näherer Betrachtung der Federn von *Goura victoriae* erkennt man übrigens, daß nur die Hakenradii, die die Bogenradii vollkommen überdecken, und zwar nur ihre distalen Teile, blaues Licht reflektieren. Der distale Teil weist eine deutliche Differenzierung der Kästchenzellen auf und enthält schwarzes Pigment, welches in der Mitte der Zellen jeweils in einer paketartigen Masse angehäuft ist, während die proximalen Teile der Hakenfasern nur locker verteiltes bräunliches Pigment aufweisen. Speziell die äußersten, durch Kerben getrennten Zellen erscheinen mit ihrem eingelagerten Pigmentstrang wie Perlen, die auf einem schwarzen Faden aufgereiht sind (Fig. Z¹). Zu beiden Seiten ist das Pigment der Radien

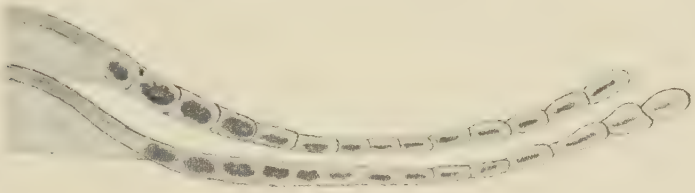

Fig. Z¹.
Distaler Teil einer Hakenfaser einer blaugrauen Flügeldeckfeder von *Goura victoriae*.

von Kästchen umgeben, die ein mattes Blau reflektieren, während die Rami bei *Goura* gar nicht an der Bildung des Blau beteiligt sind. Ähnlich wie bei *Goura coronata* ziehen dicht unter der Oberfläche der Rami 2 oder 3 Reihen von dunklen Pigmentkörnern entlang.

Während nun nach Haecker bei Tauben hauptsächlich zwei Wege zur Erzielung der blauen Farbe benutzt werden, nämlich blaues Pigment (*Cyanoteron*) und die Kästchenstruktur der Radien (*Goura*), muß hier noch ein dritter Weg beschrieben werden, der bei den Tauben sehr große Verbreitung besitzt. Freilich kommt dabei nicht ein reines Blau zustande, sondern ähnlich wie bei *Goura* ein mit anderen Strahlen gemischtes Blau. Es ist die von den Züchtern als Taubenblau bezeichnete Farbe.

Haecker spricht allerdings nur von einem Grau der Taubenfedern, nicht von einem Graublau und sagt, daß durch Zurücktreten der Pigmente aus dem vorderen Teile der Rindenschicht und gleichzeitiges stärkeres Hervortreten der metameren Pigmentanordnung in den Radii Grau entsteht. Im Folgenden soll an der Hand einiger

einfacher Versuche die Natur des Taubenblau genauer untersucht werden.

Betrachtet man die Oberseite einer hellblaugrauen Feder bei schwacher (25facher) Vergrößerung, so erkennt man, daß hauptsächlich die Radien bei auffallendem Licht schwach bläulich-weiß gefärbt sind. Am stärksten zeigen der distale Teil, die Ansatzstelle und die dorsale Leiste der Radien diese Farbe. Die Rami dagegen reflektieren hier nun ein silbriges Weiß. Auf der Unterseite geschieht die Reflexion des Bläulich-weiß von den Bogenfasern und den Rami.

Im durchgehenden Lichte erscheint an allen genannten Stellen, da wo das Licht ungehindert hindurchtreten kann, eine gelblich-rötliche Färbung, welche für unser Auge deutlicher als das Blau hervortritt.

Der Farbenumschlag von bläulich zu rötlich bei auffallendem und durchgehendem Licht weist darauf hin, daß auch hier die bläuliche Färbung eine physikalische oder Strukturfarbe ist.

I. Versuch.

Setzt man an den Rand des Deckglases einen Tropfen Canadabalsam, so bietet sich uns folgendes Bild dar. Je mehr der Balsam die einzelnen Radien umhüllt, um so mehr verschwindet der gelbliche

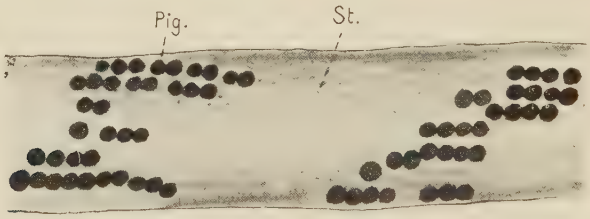

Fig. A².
Teil einer Bogenfaser aus einer blaugrauen Bauchfeder von *Col. livia* in Canadabalsam. Imm. 1/12, Ok. 12. *St* Struktur.

Ton im durchgehenden Licht, eine starke Aufhellung der Radien erfolgt, so daß die Pigmentkörner, welche als schwarzbraune große Kugeln in charakteristischen, stufenartig untereinander gelagerten Reihen angeordnet sind, deutlich hervortreten. Betrachtet man nun die Stellen der Radii, die früher in Luft bläulich-weiß reflektierten bei stärksten Vergrößerungen, so erkennt man eine feine Struktur,

welche die Gestalt von Grübchen, Ansatzstellen von Röhrchen oder aufgelagerten Blättchen zu haben scheint (Fig. A^2). Wir haben also festzustellen:

1. In den bläulich-weißen Radien ist ein dunkles Pigment vorhanden und

2. die bläuliche Farbe ist eine optische, also offenbar an eine gewisse Struktur gebunden.

Um den Beweis dafür zu erbringen, daß nun wirklich diese Struktur die bläuliche Färbung erzeugt, wird folgender Versuch gemacht.

II. Versuch.

Von dem Ramus einer blaugrauen Feder werden vorsichtig etliche Radii abgetrennt und auf einem Objektträger aufgeklebt, der dünn mit Canadabalsam bestrichen ist. Dann werden mit einem scharfen Skalpell die Radien vorsichtig abgeschabt. Zur Kontrolle werden andere Radii ohne Flüssigkeit eingedeckt. Es zeigt sich dann, daß von den ersteren kein bläuliches Licht reflektiert wird, während dies bei den unverletzten Radii noch der Fall ist.

In Canadabalsam kann man die Natur dieser Struktur nicht näher verfolgen. Sie erscheint, wie gesagt, in Form von Grübchen oder Blättchen oder aber wie Ansatzstellen von Röhrchen, die in das Innere der Radien gehen (Fig. A^2). Da ich im Anschluß an die Haecker'schen Arbeiten diese letzte Deutung für wahrscheinlich hielt, so habe ich mich erst lange Zeit vergeblich bemüht, die vermeintliche Röhrchenstruktur mit irgendeiner Flüssigkeit oder Farbe zu injizieren. Über die wirkliche Natur der Struktur gibt am besten folgender Versuch Aufschluß.

III. Versuch.

Zu einem Stück der blaugrauen Feder wird auf dem Objektträger unter einem Deckglas Schwefelkohlenstoff gebracht. Das Deckglas wird leicht auf und ab bewegt, so daß der Schwefelkohlenstoff verdunstet. Hebt man dann das Deckglas ab, so gewahrt man, daß an diesem wie an dem Objektträger ein feiner Staub haften bleibt. Unter dem Mikroskop erscheint er im durchgehenden Licht rötlich-gelb, im auffallenden Licht reflektiert er bläulich-weiß. Dieser Staub stellt auf dem Deckglas ein Abbild der Hakenfasern, auf dem Objektträger ein Abbild der unteren Ramiteile und der Bogenfasern dar. Auf dem Deckglas ist an jenen Stellen, wo die Radii in die

Rami einmünden, und in dem distalen Teil der Hakenfasern diese Struktur in größerer Masse abgelagert. Bei starker Vergrößerung erkennt man, daß sie aus einer großen Anzahl sehr kleiner, dünner durchsichtiger Blättchen besteht. Die Gestalt der Blättchen ist verschieden, meist sind sie dünne stäbchenförmige Gebilde.

Man könnte das Bedenken erheben, daß dieses Ergebnis für die lufttrockenen Federn alter Volgelbälge Geltung haben möge, daß sich aber bei frischen Federn eine solche Struktur nicht abheben läßt oder daß sie überhaupt nur auf Federn alter Bälge durch Staubansammlung oder Ähnliches entstehe. Es wurden nun, um diesem Einwurf von vornherein zu begegnen, frische, eben erst ausgebildete Federn einer lebenden Taube entnommen und demselben Verfahren unterworfen. Es stellte sich heraus, daß diese Staubstruktur in derselben Weise ausgebildet und nicht auf künstliche Weise oder zufällig auf die Federn gekommen ist. Diese Staubstruktur ist zweifellos der die bläuliche Färbung bedingende Faktor.

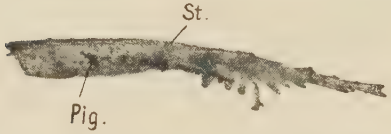

Fig. B².

Hakenfaser einer blaugrauen Taubenfeder in Luft. Struktur in verschieden dicken Lagen.

Schon bei der Betrachtung der Radii in Luft sieht man, daß diese Staubstruktur nicht überall in gleicher Stärke und gleicher Ausbildung vorhanden ist, daß es dichtere und dünnere Lagen gibt (Fig. B²). Bei zunehmender Dichte reflektiert sie nicht mehr bläulich-weiß, sondern milchweiß. Noch deutlicher wird diese Erscheinung durch folgenden Versuch.

IV. Versuch.

Erzeugt man in ähnlicher Weise wie im dritten Versuch auf einem Objektträger eine dickere Lage der Staubstruktur, so erkennt man, daß der Farbton bei Dunkelfeldbeleuchtung von bläulich nach milchweiß übergeht, und zwar um so mehr, je dicker die Lage des feinen Staubes übereinander wird. Die Dichte der Lagerung spielt also eine wichtige Rolle bei der Erzeugung der reflektierten Farbe.

Wie wir schon gesehen haben, findet sich in den blaugrauen Radien schwärzliches Pigment. Um zu erfahren, welche Bedeutung diesem zukommt, wurde folgender Versuch angestellt.

V. Versuch.

Die Struktur wurde wiederum von einer blaugrauen Feder abgehoben und auf eine weiße, schwarze und braune Unterlage übertragen, um so die Wirkung der Kombination dieser bläulichen Strukturfarbe mit anderen Farben zu ermitteln. Nach den Übertragungen auf eine weiße Unterlage überstrahlt die Intensität der weißen optischen Farbe völlig die nur schwache bläuliche. Bei dem Übertragen auf eine schwarze ist dagegen der bläuliche Farbton deutlich zu erkennen, doch tritt die schwache Strukturfarbe gegenüber der dunklen Absorptionsfarbe stark zurück. Es entsteht ein dunkles Blaugrau. Bei dem Übertragen der Struktur auf eine Unterlage, die mehr oder weniger bräunlich ist, findet eine Mischung der Strahlen der Absorptionsfarbe mit dem Bläulichen statt, so daß eine braungraue Mischfarbe entsteht.

Es ergibt sich mithin, daß weder eine völlig schwarze noch eine völlig weiße Unterlage imstande ist, den bläulichen Ton am stärksten zur Geltung zu bringen, da in dem einen Falle der bläuliche Schein in dem Weiß, in dem anderen Falle in der Pigmentfarbe vollkommen verschwindet. Am besten kommt der bläuliche Schimmer zur Wirkung, wenn von seiten der übrigen Federstrukturen eine graue Mischfarbe erzeugt wird (Reflexion des weißen Lichtes an der Hornsubstanz + schwarze Farbe der Pigmentkörner). Bei zunehmender Menge des Pigments überwiegt die schwarze Beimischung, bei abnehmender die optische Farbe, das Weiß. Also werden durch stärkere oder geringere Pigmentierung in Verbindung mit der Staubstruktur die verschiedenen Abstufungen des Blaugrau erzielt.

Ich habe auch ähnlich wie Haecker u. Meyer mit anderen Flüssigkeiten operiert. In Flüssigkeiten wie Canadabalsam und Xylol, deren Brechungsexponenten nicht weit von demjenigen der Hornsubstanz liegen, wird die ganze Feder stark aufgehellt, die Struktur ist nur noch an einigen Stellen sichtbar (Fig. A^2). Die bläuliche Färbung ist nur noch ganz schwach vorhanden.

Bei Anwendung von Flüssigkeiten, deren Brechungsexponenten kleiner oder größer sind als der der Hornsubstanz, liegen die Verhältnisse anders. In Alkohol, der einen geringeren Brechungsexponenten besitzt, nimmt die Intensität des reflektierten Lichtes wieder zu, wenn auch die Radii noch vollkommen durchsichtig sind. In Medien, die einen höheren Brechungsexponenten haben, wie z. B. Benzol, ist deutlich eine bläuliche Reflexion an den mit Staubstruk-

tur belegten Stellen der Radien wahrzunehmen, und im durchgehenden Licht erscheinen diese Teile schwach rötlich-gelb. Noch erheblich deutlicher wird die bläuliche Färbung und die ihr zugrunde liegende Struktur, wenn wir Schwefelkohlenstoff anwenden.

Wenn diese Farbenerscheinungen natürlich auch nur sehr geringe sind, so geht doch wohl mit Sicherheit folgendes hervor: in einem Medium, dessen Brechungsexponent mit dem der Struktur übereinstimmt, verschwindet der bläuliche Ton, in einem Medium, dessen Brechungsexponent höher oder niedriger liegt, tritt er wieder auf.

Für eine exakte Erklärung der bläulich-weißen Färbung wären spektrophotometrische oder andere optische Messungen unbedingt erforderlich; bei der geringen Stärke des bläulichen Lichtes erscheint aber schon von vornherein ein Ergebnis ausgeschlossen zu sein, vor allem auch deshalb, weil an und für sich Messungen im blauen Teil des Spektrums ungenau sind. Ich muß mich daher auf den Versuch beschränken, aus den beschriebenen morphologischen Einzelheiten und aus den kleinen Versuchen eine physikalische Erklärung abzuleiten.

Eine solche Erklärung muß folgende Faktoren berücksichtigen:

1. Auf den Radien ist eine Oberflächenstruktur vorhanden, deren Brechungsexponent von dem des sie umgebenden Mediums, d. h. der Luft, verschieden ist.

2. Die Staubstruktur besteht aus sehr kleinen und besonders dünnen Blättchen.

3. Diese Blättchen finden sich nicht in besonderer Stellung, sondern sind unregelmäßig und in allen Lagen vorhanden, d. h. die Reflexion des bläulichen Lichtes an der Struktur ist unabhängig von dem Einfallswinkel der sie treffenden Strahlen.

4. Die Struktur reflektiert in dünner Lagerung bläulich-weiß, in dichter milchweiß.

Auf eine Erklärung der Erscheinungen wurde ich nun durch folgenden Versuch Brücke's geführt. Tröpfelt man in Weingeist gelöstes Mastix in bewegtes Wasser, so wird das Harz in kleinen festen Teilchen ausgeschieden, und man erhält eine trübe Flüssigkeit, die im auffallenden Licht deutlich blau ist. Sieht man durch eine dünne Schicht dieser Flüssigkeit hindurch, so erscheint sie rötlich-gelb. Je stärker nun die Ausscheidung dieser feinen Teilchen erfolgt, um so mehr nähert sich der Farbton des reflektierten Lichtes einem Milchweiß.

Mit einem ähnlichen trüben Medium, d. h. einer Kombination zweier Medien mit verschiedenen Brechungsexponenten, haben wir es offenbar auch hier zu tun. Es handelt sich um die Kombination der Luft und der Hornblättchen, deren Dicke gleich und zum Teil etwas geringer als die mittlere Wellenlänge des weißen Lichtes sein muß. An diesen kleinen Teilchen findet nach Lord Rayleigh eine diffuse Reflexion des Lichtes statt und zwar so, daß die bläulichen Strahlen in geringem Maße gegenüber den weißen bevorzugt werden. Wir erhalten also ein bläulich-weißes Licht bei der Aufsicht. Im durchgehenden werden die rötlich-gelben Strahlen bevorzugt.

Bei der Annahme eines trüben Mediums wäre die Stellung der Blättchen gleichgültig, und die Unabhängigkeit der erzeugten Farbe vom Einfallswinkel des Lichtes wäre erklärt. Werden die Staubteilchen in dichten Massen abgelagert, so verschwinden die wenigen blauen Strahlen in der Masse der reflektierten weißen, so daß eine milchweiße Farbe entsteht. Wenn die trübenden Teilchen größer werden, so tritt nur noch eine Diffraktion des weißen Lichtes ein: die Radii sind dann ganz weiß.

Die Zurückwerfung des bläulichen Lichtes kann an der Struktur erfolgen, wie es ein trübes Medium fordert, ohne daß eine Pigmentunterlage vorhanden ist. Das dunkle Pigment dient, wie oben erwähnt, nur zur Herstellung eines neutralen Grau, also zur Verdunkelung des Weiß, in dessen Strahlen sonst die bläulich-weißen der Struktur vollkommen verschwinden würden.

Es lag nahe, an den Stellen der Feder, wo die Staubstruktur in die gewöhnliche übergeht, die Entstehung dieser Staubstruktur kurz zu verfolgen.

Betrachtet man blaugraue Federn, die sich eben erst aus der Federscheide herausschieben, so sieht man, daß schon in diesem Stadium die blaugraue Färbung auf Grund der charakteristischen Oberflächenstruktur zustande kommt. Präpariert man die Scheide ab, so erkennt man, daß diese an ihrer Außenfläche ganz fest ist, aber in ihren inneren Schichten immer mehr in Zerfall übergeht. Erst stößt man auf größere dünne Hornschollen, die mehr oder weniger zusammenhängen, die aber im auffallenden Licht noch keine Reflexion von bläulich-weißen Strahlen erkennen lassen, während weiter nach innen, dicht über den ausgebildeten Federteilen, eine staubförmige Struktur vorhanden ist, die im auffallenden Licht bläulich-weiß, im durchgehenden rötlich-gelb erscheint.

Die Staubschicht an der Innenfläche der Federscheide besteht aber nicht nur aus den zerfallenden Innenschichten der Federscheide selbst, sondern auch aus den bei der Differenzierung der Federteile überflüssig gewordenen Zellen, d. h. den Cylinderzellen und den zwischen der Federscheide und den Rami und Radii gelegenen Zellen. Demgemäß ist es nicht zu verwundern, wenn man bei Ablösung der Federscheide an ihrer Innenfläche den genauen Abdruck der Rami und Radii findet.

Diese Erscheinung des Zerfalls und der Entstehung der Staubstruktur, die sich hier bei den Konturfedern findet, ist von STIEDA bei den Puderdunen beobachtet worden. Sie haben diesen Namen erhalten, weil durch den Zerfall der die Fäden des Federbüschels ursprünglich umgebenden Gewebehüllen eine feine Staubstruktur gebildet wird.

Die bläuliche Färbung ist bei *Columba livia* nicht nur auf die Radien beschränkt, sondern findet sich auch auf den Rami. Betrachtet man den schwarzen Teil der Steuerfedern unter einem Winkel von ca. 45°, so also, daß die Seitenwände der lamellenförmigen Rami übereinander liegen, so sieht man auch auf den Rami eine bläulich-graue Färbung. Die Entstehung des Bläulichweiß ist hier auf ähnliche Strukturverhältnisse wie bei den Radien zurückzuführen.

Wenn man nämlich einen einzelnen Ramus mit einer Seitenwand auf einen Objektträger legt und an beiden Enden mit einem Paraffintropfen befestigt, so erkennt man im auffallenden Licht auf der Seitenwand ebenfalls eine körnige Struktur, die je nach Stärke bläulich oder weißlich reflektiert. Im durchgehenden Licht erscheint auch diese rötlich-gelb, und zwar ist in beiden der Unterschied zwischen der Intensität des von den Markzellenwänden und des von den Zellumina reflektierten Lichtes nur gering.

Schabt man die Struktur ab, so erkennt man an solchen Stellen wo die körnige Struktur entfernt ist, die Markzellen aber nicht verletzt sind, daß die dünnen Wände weißliches Licht reflektieren, während das Lumen der Zelle dunkel erscheint (Fig. C²a). Es geht also daraus hervor, daß es die Oberflächenstruktur ist, welche diese Unterschiede ausgleicht, so daß die ganzen Seitenwandungen mehr eine gleichmäßig bläuliche oder milchweiße Färbung aufweisen. Die Unterschiede zwischen milchweißem und bläulich-weißem Licht werden durch die Pigmentierung hervorgerufen, welche in den Seitenwandungen nur in dem spitzen Teile der Rami und haupt-

sächlich in den dorsalen und ventralen Verdickungen der letzteren vorhanden ist. Während an den unpigmentierten Stellen die bläulichen Strahlen von den weißlichen überstrahlt werden, wird durch das Pigment ein dunkles Blaugrau erzielt.

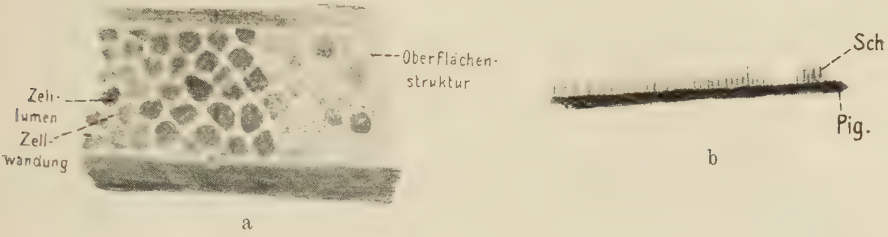

Fig. C².

a Seitenwand eines bläulich-grauen Steuerfederramus nach teilweisem Entfernen der Struktur. Aufsicht. b Teil eines Schnittes. *Sch* Schüppchen oder Stacheln aus der Hornrinde entspringend.

Durch die Einbettung in Paraffin wird die Struktur teilweise abgehoben, so daß man auf Querschnitten meist nur kleine feine Schüppchen sieht, die aus der Rindenschicht entspringen (Fig. C²b).

Die Staubstruktur bei verschiedenfarbigen Taubenfedern.

Nicht nur die blaugrauen Federn sind zu „Puderfedern“ umgewandelt, sondern auch alle andersfarbigen Federn von *Columba livia* und *palumbus*. Lediglich in der Stärke und in der Ausbildung der Staubstruktur unterscheiden sie sich.

In den Rami sind die Seitenwände und die Gesimse bevorzugt. Auf der ventralen Verdickung ist die Oberflächenstruktur mehr als auf der dorsalen ausgebildet. Bei den im Querschnitt birnenförmigen Rami sind nur die Übergänge zu den Radii mit starker Staubstruktur versehen. Sehr starke Ausbildung hat die Struktur auch auf den Rami der weißen Federn erlangt. Infolge dieses Belages wird von den Seiten der Rami ein milchiges Weiß reflektiert. Was die Radii anbelangt, so zeigen die blaugrauen Kopf-, Seiten- und Schwanzdeckfedern eine gleichstarke Ausbildung der Struktur besonders auf den Bogenfasern. Da aber die Struktur hier stärker ausgebildet ist als auf der Oberseite der Hakenfasern, während die Pigmentverteilung das umgekehrte Verhältnis zeigt, so erscheint die untere Seite heller bläulich als die Oberseite.

Diese Verhältnisse treten auch bei den schillernden Halsfedern auf, auf deren Unterseite deutlich eine bläuliche Färbung zu erkennen ist. Hält man die schillernde Oberseite so, daß der Schiller nicht zum Vorschein kommt, so gewahrt man auch hier eine bläuliche Färbung, die aber infolge des dunklen Pigments nur undeutlich ist.

Auch in der schwarzen Binde der Schwanzfedern ist die Oberflächenstruktur schwach ausgebildet, aber infolge der gleichmäßigen Pigmentierung verschwindet der bläuliche Ton.

Deutlicher als bei der schwarzen Schwanzbinde ist die Struktur auf den dunklen Flügelquerbinden der Felsentaube ausgebildet, und zwar am meisten in dem distalen Teil und der Ventrallamelle der Hakenfasern, wie auch in den Lamellen der Bogenfasern. Die ganzen Querbinden zeigen einen bläulichen Hauch.

Eine schwach angedeutete Struktur und demgemäß eine schwache bläuliche Färbung gewahrt man auch auf den Schwungfedern und ferner auf den braunen Rücken- und Flügeldeckfedern von *Columba palumbus*.

Wie wir sahen, ist die Oberflächenstruktur auf jeder Feder der Felsen- und der Ringeltaube ausgebildet, gleichgültig ob sie schwarz, bräunlich oder rötlich ist; nur die Stärke der Ausbildung der Struktur ist verschieden. Dieselben Verhältnisse finden wir auch bei den nicht grauen Mutanten der *Columba livia*.

Schon durch den oben beschriebenen Versuch mit Schwefelkohlenstoff kann man sich von der Anwesenheit der Struktur überzeugen. Bei silberfahlen, lerchenfarbigen, gelben, roten, braunen und schwarzen Tauben verschiedener Rassen ist die Struktur auf jeder Feder vorhanden. Bei silberfahlen Tieren, in deren Federn bräunliche Pigmente in sehr lockerer Verteilung vorhanden sind, ist die Struktur stark ausgebildet, während sich in den Schwanzfedern einer roten Trommeltaube nur Spuren nachweisen lassen.

b) Die Oberflächenstruktur bei Wasservögeln.

Die nämliche Staubstruktur wie bei den Tauben habe ich bei verschiedenen Wasservögeln gefunden; speziell bei Kranichen und Reihern erfährt die Struktur der Rami eine starke Ausbildung.

Besonders in den bläulichen Brustfedern von *Agamia agami* ist sie in mächtiger Ausbildung vorhanden, und zwar sitzt dem verbreiterten Ramus außen eine mächtige, teilweise in Zerfall be-

griffene Hornschicht auf, in welcher man regelmäßige Stäbchen einer anderen Substanz von wechselnder Dicke und Länge wahrnehmen kann (Fig. D²). Diese Stäbchen können von der mächtigen schwarzen Pigmentunterlage an verfolgt werden, sie entspringen direkt aus der Rindenschicht und ragen zum Teil über die übrige im Zerfall begriffene Hornschicht hinaus. Diese Außenschicht, die also eine Zellenstruktur nicht erkennen läßt, reflektiert im auffallenden Lichte ein weißliches Blau, während sie im durchgehenden Lichte goldgelb erscheint.

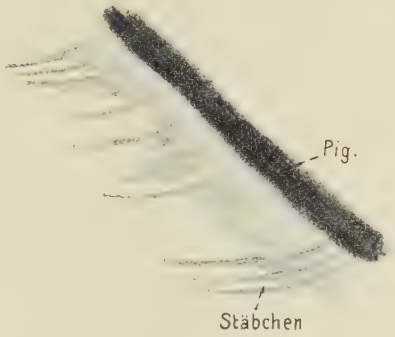

Fig. D². Stäbchenstruktur einer blauweißen Halsfeder von *Agamia agami*. Imm. $^1/_{12}$, Ok. 12.

Wie bei der blauen Farbe von *Malurus* (Haecker), so verschwindet auch hier die Farbenerscheinung in Canadabalsam und tritt in Medien mit niederen oder höheren Brechungsexponenten wieder auf. Die Aufhellung der Stäbchen geht schneller vor sich als die der in Zerfall begriffenen Hornmasse, jedoch kann man auch noch im Canadabalsam die Stäbchen selbst deutlich wahrnehmen, im Unterschied zu der „Röhrchenstruktur" der rein blauen Federn. Offenbar wird auch hier durch die Stäbchen und die dazwischenliegende Staubstruktur ein trübes Medium gebildet, welches die blaue Farbe erzeugt. Wenigstens läßt sich die Farbenerscheinung ohne weiteres verstehen, auch wenn die Stäbchen wirklich als solche und nicht als Röhrchen existieren.

c) Die „Röhrchenstruktur".

Es handelt sich nun weiter um die Frage, ob und wieweit bei dem Zustandekommen des Taubenblaues auch die von Haecker bei blauen Federn beschriebenen Kästchenzellen beteiligt sind. Dies sind modifizierte Markzellen, deren lufthaltige, von Poren durchsetzte Wandungen das die blaue Farbe erzeugende trübe Medium darstellen.

Bei den blaugrauen Taubenfedern sind in der Tat die Wandungen der Markzellen der Rami von einigen groben, locker verteilten „Röhrchen" durchsetzt, die aber sicherlich in diesem Falle bei der Erzeugung des Blaugrau keine Rolle spielen (Fig. E²). Dagegen läßt sich unschwer zeigen, daß bei zahlreichen anderen Vögeln, bei

denen eine blaugraue Färbung vorliegt, diese auf der geschilderten Kästchen- oder Röhrchenstruktur beruht.

Speziell bei einer blaugrauen Feder z. B. von *Anas discors* kann man bei Behandlung mit Benzin folgende Vorgänge beobachten: Anfänglich sind die Zellen vollkommen mit Luft gefüllt und undurchsichtig. Dann tritt nach einiger Zeit in der Mitte eine feine Körnelung auf (Fig. F²b), während am Rande der Zellen ein Bild entsteht, welches am besten mit einem Besatz von Stacheln verglichen werden kann (Fig. F²a). Zweifellos handelt es sich im

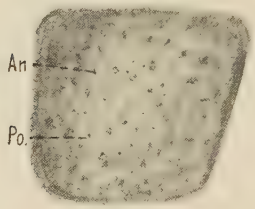

Fig. E².

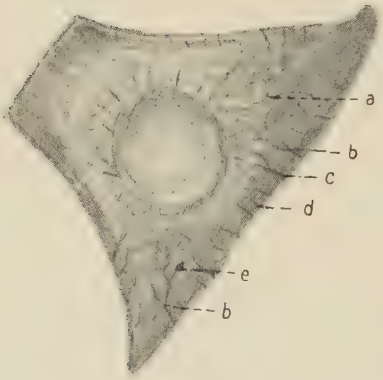

Fig. G².

Fig. F².

Fig. E². Markzelle aus dem Ramus einer blaugrauen Feder von *Col. livia.*

Fig. F². a Markzelle aus dem Ramus einer blaugrauen Spiegelfeder von *Anas discors* beim Beginn des Eindringens von Benzin. Auf den Rand der Zelle eingestellt. b Auf die Mitte der Zelle eingestellt. Imm. $^1/_{12}$, Ok. 12.

Fig. G². Markzelle aus dem Ramus einer blaugrauen Feder von *Anas discors* während des Eindringens von Benzin. Spätes Stadium. a Gewirr von Röhrchen. b Anastomosen. c Röhrchen mit großem Querschnitt. d Röhrchen mit kleinem Querschnitt. e Verdickung eines Röhrchens.

ersteren Falle um die Aufsicht, im letzteren um die Seitenansicht der von Haecker beschriebenen Wandporen oder „Röhrchen".

Diese „Röhrchen" treten in Seitenansicht, soweit schon aus ihnen die Luft verdrängt ist, als helle Streifen in der zunächst noch dunklen Wand hervor. Je mehr die Luft verdrängt wird, um so stärker wird die Aufhellung der ganzen Zelle. Man kann die „Röhrchen" ein ganzes Stück in die Zellwand hinein verfolgen, im Gegensatz zu den rein blauen Federn, die meistens nur die Mündungsstücke der „Röhrchen" erkennen lassen. Ferner sieht man, daß die Durchmesser der „Röhrchen" nicht gleich sind, sondern daß einige sich durch besondere Breite auszeichnen (Fig. G^2).

Wenn das Benzin weiter eindringt, so sammelt sich die Luft im Innern des Zellumens in Form eines Bläschens an. In diesem Stadium sieht man nicht nur die Ansatzstellen der „Röhrchen" in der Außenschicht, sondern auch in der innersten, der Luftblase benachbarten Schicht der Zellwandungen, während in den dazwischen gelegenen Schichten ein undeutliches anscheinend aus verschlungenen und gewundenen Röhrchen bestehendes Hohlraumsystem hervortritt (Fig. G^2). Offenbar gehen die mit breiten und geraden äußeren Enden beginnenden „Röhrchen" allmählich in diese gewundenen und verschlungenen über. Diese Verhältnisse hat später, unabhängig von mir, G. Kniesche an rein blauen Federn feststellen können.

Zuweilen kann man feststellen, daß diese „Röhrchen" miteinander in Verbindung stehen und Anastomosen bilden. In Fig. G^2 sind solche zu erkennen, und ferner sieht man hier die anormale Ausbildung des Seitenastes eines Röhrchens; das Röhrchen ist zu einem Bläschen erweitert.

Demnach wird auch die Reflexion des blauen Lichtes verschieden stark sein, und man wird im ganzen sagen können, daß bei gleicher Dicke der Kästchenwandung und bei gleicher Pigmentierung der blaue Ton um so stärker hervortritt,

a) je größer die Zahl der „Röhrchen" ist,

b) je kleiner ihr Durchmesser ist und

c) je stärker sie gewunden sind.

Diese Verhältnisse, die man schon an den Federn von *Anas discors* oder *Anas maculirostris* an benachbarten Markzellen konstatieren kann, treten noch deutlicher hervor, wenn man die Federn verschiedener Vögel mit verschiedenen Abstufungen von dunkel oder hell blaugrau und milchweiß (bläulich + weiß) betrachtet. Ich habe u. a. die blaugrauen Federn untersucht von: *Anas discors*, *maculi-*

rostris, *clypeata*, *querquedula*; *Ceryle alcyon*, *maxima*, *Culicivora dumicola* ♀ und ♂; *Orthygometra nigra*, *pygmaea*; *Pteruthius* (*Cutia*) *nipalensis*; *Orlyx picta*; *Callipepla californica* u. a.

Da nach völliger Verdrängung der Luft die Röhrchenstruktur infolge der starken Aufhellung der Hornsubstanz fast nicht mehr zu sehen ist, so war es erwünscht, sie durch ein schnell erstarrendes Medium zu fixieren. Während Kniesche Spirituslack dazu verwandte, gebrauchte ich Glycerin-Gelatine, die durch Erwärmung flüssig gemacht und unter dem Deckglas der Feder zugesetzt wurde. Nach dem Erkalten blieben die verschiedenen Stadien des Eindringens der Flüssigkeit in die Röhrchen erhalten.

Einen endgültigen Beweis dafür, daß wir es hier wirklich mit „Röhrchen" zu tun haben, möchte ich allerdings weder in diesen noch in den von Kniesche angestellten Versuchen erblicken. Es bleibt vielmehr die Möglichkeit bestehen, daß diese Struktur nicht aus Röhrchen besteht, sondern aus faden- oder schlierenartigen Differenzierungen, welche aus einer Substanz bestehen, deren Brechungsexponent etwas von dem der übrigen Hornsubstanz verschieden ist und welche etwas rascher als diese von Flüssigkeiten inbibiert wird.

Schon Gadow hat darauf hingewiesen, daß Flüssigkeiten sehr leicht durch feste Hornsubstanz hindurchdiffundieren. Davon kann man sich überzeugen, wenn man einige Tage eine Feder mit ihrem Schaft in eine Flüssigkeit stellt. Die Flüssigkeit durchtränkt die feste Hornsubstanz vollkommen und steigt in ihr empor.

Nehmen wir nun an, daß sich in der Hornsubstanz fadenartige Differenzierungen befinden, welche einen abweichenden Brechungsexponenten besitzen und schneller inbibiert werden als die übrige Hornsubstanz, so wird bei allmählicher Durchtränkung eine ähnliche Struktur zum Vorschein kommen, wie wenn wirkliche Poren oder Röhrchen vorhanden wären. Im übrigen glaube ich, daß sich diese Frage nur auf entwicklungsgeschichtlichem Wege endgültig lösen läßt.

Daß im übrigen die feste Hornsubstanz des Schaftes kein homogenes Gefüge besitzt, selbst schon ein trübes Medium darstellt und bläuliche Strahlen reflektiert, kann man daraus erkennen, daß bei 30 μ starken Schnitten durch den Schaft nach Einbettung in zähen, gelblichen Canadabalsam eine deutliche Grünfärbung der äußeren Hornsubstanz auftritt, die nur dadurch zustande kommen kann, daß eben bläuliche Strahlen mit der gelblichen Farbe des Canadabalsams

kombiniert werden. Je mehr der Canadabalsam eindringt, um so mehr geht auch die grünliche Färbung zurück.

II_3. Über die Pigmentfarben der Felsentaube.

Wir haben gesehen, daß der bläuliche Ton der Taubenfedern eine Strukturfarbe ist, und haben uns nun dem Anteil der Pigmente bei der Erzeugung der Farben zuzuwenden.

Aus den Untersuchungen älterer Forscher, wie Bogdanow, Krukenberg u. A., geht hervor, daß die Vogelfedern sowohl Melanine als Lipochrome aufweisen.

Hoppe-Seyler kennzeichnet die erste Gruppe als nicht krystallinisch, körnig, unlöslich in indifferenten Flüssigkeiten und in verdünnten Säuren, mehr oder weniger löslich in Alkalien und sehr widerstandsfähig gegen kräftige chemische Reagentien.

Gortner wies zwei verschiedene Melanintypen nach: Melanoprotein, das in Alkalien leicht löslich ist und keine Asche gibt, wie z. B. das Pigment schwarzer Schafwolle, und das echte Melanin schwarzer Federn und schwarzer Pferdehaare, das in Alkalien sehr wenig löslich ist, erst durch langes Kochen in Lösung geht und Asche, meist Eisenoxyde enthält.

Während die Lipochrome sich mehr in diffuser Verteilung vorfinden, zeichnen sich die Melanine durch scharf ausgeprägte Körnergestalt aus. Nach Post ist die Gestalt und Größe der Pigmentteilchen spezifisch verschieden. Nach ihm sind die Pigmentkörner in der Oberhaut der Katze lang und ziemlich dick, beim Kaninchen kurz und dick, beim Meerschweinchen wetzsteinförmig und in den Taubenfedern klein und stäbchenförmig.

Eine spezifische Größe und Gestalt der Pigmentkörner weist auch Strong in den Schwungfedern verschiedener Vögel nach. Nach ihm sind z. B. die Pigmentstäbchen bei *Sterna caspia* und der „homer"-Taube unveränderlich 2 μ lang und ca. $^1/_3$ μ breit, bei der rotbraunen „common dove" dagegen nur 1 μ.

Haecker (1890) hatte schon Pigmentkörner verschiedener Größe und Gestalt gefunden, z. B. bei einer *Malurus*-Art solche, die 2—2,5 μ lang und 0,8—0,5 μ breit waren. In den Rami und Radii der rötlich-braunen Brustfedern der Ringeltaube sind dieselben kugelförmig und von verschiedener Gestalt.

a) Über Größe, Gestalt und Farbe der Pigmentkörner.

Im Folgenden soll die Größe, Gestalt und Farbe der Pigmentkörner in den verschiedenen Federn von *Columba livia* und *palumbus* näher untersucht werden.

Speziell in sämtlichen blaugrauen Federn ist das Pigment in großen runden Körnern von meist 1,2 μ Durchmesser abgelagert. Diese Körner von schwärzlicher oder dunkelbräunlicher Färbung finden sich nur im distalen Teil der Feder, und zwar sowohl im Schaft wie auch in den Rami und Radii (Fig. H²).

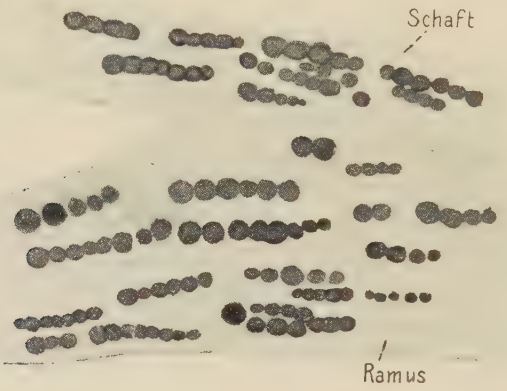

Fig. H².
Einmündung eines Ramus in den Schaft im distalen Teil einer blaugrauen Taubenfeder.

Weiter proximal findet eine Abnahme der großen Körner zuerst besonders im Schaft statt, so daß die kleineren von nicht mehr als 1 μ Durchmesser überwiegen und die großen Formen nur noch an der Einmündungsstelle der Rami, und zwar an der Außenseite, auftreten (Fig. J²). Nebeneinander gelagerte Körner zeigen jetzt häufiger Größen- und Gestaltunterschiede, insbesondere kommen neben kugligen Körnern zuweilen auch solche von ovaler und auch schon stäbchenförmiger Gestalt vor, die hintereinander oder in mehreren Reihen parallel zur Achse der Rami zu Gruppen vereinigt sind.

Entgegen den Angaben von POST und STRONG ist weder Länge noch Breite der Stäbchen konstant. Es finden sich Stäbchen, die z. B. 2,4 : 0,2, ferner 2,4 : 0,5 oder 0,6 : 0,4 oder 0,6 : 0,2 μ groß sind. Die Enden der Stäbchen sind abgerundet, zuweilen auch zu-

gespitzt. Neben diesen Stäbchen finden sich die verschiedensten Übergänge zu runden Formen.

In noch weiter proximal einmündenden Rami (Fig. K^2) tritt an der Einmündungsstelle im Schaft die Verschiedenheit der Gestalt der Körner noch stärker hervor. Zugleich nimmt die Größe derselben ab. An der Außenseite der einmündenden Rami sind nur noch wenige größere (ca. 1 μ) runde Körner vorhanden, im allgemeinen sind die Körner noch kleiner als bisher und zeigen

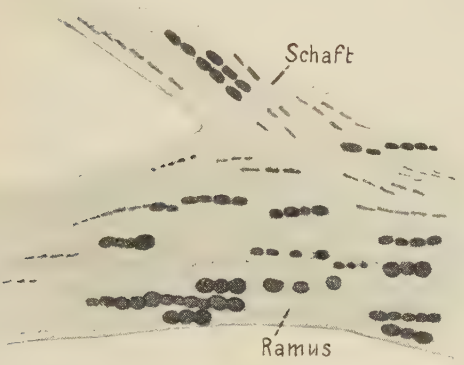

Fig. J^2.

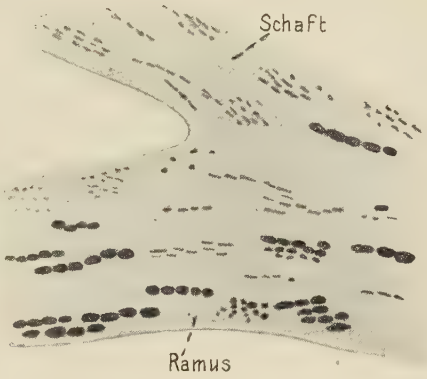

Fig. K^2.

Fig. J^2 u. K^2. Dasselbe wie Fig. H^2; Fig. J^2 weiter, Fig. K^2 noch weiter proximal.

auch in höherem Maße Unterschiede nach Gestalt, Größe und Anordnung. Neben kleinen runden Körnern von nicht mehr als 0,3 μ Durchmesser und größeren runden oder elliptischen von ca. 0,8 μ Durchmesser finden sich dickere und dünnere Stäbchen sowie spindelförmige und wetzsteinförmige in allen Gruppierungen und Übergängen.

Noch weiter proximal nimmt die Zahl der Pigmentkörner allgemein ab, und die großen Formen sind vollkommen verschwunden (Fig. L^2). In den Rami enden die Pigmentgruppen schon vor den Ansatzstellen am Schaft, in welchem jetzt fast nur noch kleine dünne Stäbchen (1 : 0,2 μ) zu finden sind.

Gleichzeitig mit der Größenabnahme der Pigmentkörner ändert sich auch die Farbe. Während die Körner im distalen Federteil schwärzlich sind, werden sie nach dem proximalen Teil zu dunkelbräunlich, bräunlich und schmutzig gelblich. Das Braun gleicht dem Dianilorange N_3 und D, während das Gelb dem Primulin O_3

der Farbenskala [1]) entspricht. Die Farben gehen kontinuierlich ineinander über.

Der Übergang der großen runden Körner in ovale, elliptische und stäbchenförmige von bräunlich-gelber Farbe und die allmähliche

Fig. L².

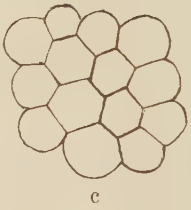

Fig. O².

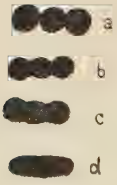

Fig. M².

Fig. N².

Fig. L². Einmündung eines Ramus in den Schaft im proximalen Teil einer blaugrauen Taubenfeder.

Fig. M². Allmähliche Verschmelzung dreier Pigmentkörner.

Fig. N². 2 abgeplattete Pigmentkörner mit einem Spaltraum.

Fig. O². Pigmentkörner, die sich gegenseitig abgeplattet haben.

Abnahme der Größe und der Zahl der Pigmentkörner läßt sich bei jeder Feder der Felsen- und Ringeltaube beobachten.

1) Als Farbenskala habe ich, da es eine internationale Farbentabelle über die zahlreichen Übergänge von Gelb zu Rot, Braun und Schwarz nicht gibt, die 1912 herausgegebene Farbenskala der Höchster Farbwerke verwandt. Die Zahl 1—3 gibt immer den Konzentrationsgrad der Farblösung an.

Im Anschluß an diese immer wiederkehrenden Merkmale will ich noch einige sekundäre Umgestaltungen der Pigmentkörner erwähnen, die in Federn der verschiedensten Farbe sich immer wiederfinden.

Die Körner können zu semmelartig eingeschnürten Gebilden verschmolzen sein. Bei vollkommener Verschmelzung mehrerer Körner entsteht dann ein einheitliches, länglich-ovales oder stäbchenförmiges Pigmentkorn, bei dem man nur zuweilen noch beobachten kann, daß es sich aus verschiedenen zusammensetzt (Fig. M^2).

Wenn die kugelförmigen Pigmentkörner dicht nebeneinander in Reihen angeordnet sind, platten sie sich vielfach gegenseitig ab. Dabei kann zuweilen zwischen den abgeplatteten Körnern eine deutliche helle Spalte auftreten (Fig. N^2).

Je nach den verschiedenen Lagen zueinander können die verschiedensten mehr oder weniger abgeplatteten Körner entstehen (Fig. M^2 u. O^2). Liegen 3 Pigmentkörner in Dreiecksform zusammen, so platten sie sich derart ab, daß sie mit den abgeplatteten Seitenflächen in einem Winkel zusammenstoßen (Fig. O^2b).

Wird ein Pigmentkorn allseits von anderen Pigmentkörnern umlagert, so erscheint es in Aufsicht sechseckig, während es in Wirklichkeit zu einem Zwölfflächner abgeplattet ist (Fig. O^2c).

Sind die Körner nicht vollkommen umlagert, so behalten eine oder mehrere Seiten die Gestalt von Kugelschalen bei (Fig. O^2b).

Um sicher festzustellen, daß die Pigmentkörner einzelner Reihen völlig verschmolzen sind, kann man, wenn es sich um die schwarzen oder schokoladenfarbigen Körner handelt, sie durch Auflösung der Hornsubstanz in Salzsäure isolieren. Mehr oder weniger ist jedoch auch eine Gestaltänderung mit der Auflösung der Hornsubstanz verbunden.

Was nun die übrigen Pigmentfarben anbetrifft, so sind speziell in den Spitzen der oberen Brustfedern hauptsächlich schokoladenbraune Pigmentkörner vorhanden, deren Größe mit denen im distalen Teil der grauen Kopffedern übereinstimmt. Der Durchmesser der Körner beträgt 1,6—0,9, in der Regel etwa 1,2 μ.

In den Zellen eines einzelnen Radius können sich Körner einer Größe oder die verschiedensten Übergänge der großen zu den kleinen Körnern vorfinden.

Was die Farbe anbetrifft, so scheint hier ein dunkles Schokoladenbraun vorzuherrschen, doch kann man auch hier Übergänge zu

anderen Farben deutlich erkennen, nämlich Körner, die eine gelbliche (Dianilorange D) oder primulingelbe Färbung aufweisen.

Nach dem rötlich-grauen Teil der Brust kann man im distalen Teil der Federn eine Zunahme von Körnern wahrnehmen, deren Farbe dunkel rotbraun oder rostbraun ist.

Was die Gestalt der Körner anbelangt, so sind im distalen Teil im großen und ganzen Formen, die Übergänge zu Stäbchen darstellen, sehr selten; meist sind kuglige Körner vorhanden. Die Länge und Dicke der Stäbchen ist auch hier nicht konstant, denn ich maß z. B. folgende: 2,2 : 1 — 2,2 : 0,2 — 1,2 : 0,3 — 1,3 : 0,5 μ.

Nach dem proximalen Teil zu nimmt die Zahl der Übergangsformen zu Stäbchen zu. Die Zellen der Radien enthalten ovale, runde, elliptische, wetzsteinförmige und spindelförmige Körner (Fig. P^2). In einer Radiuszelle können sowohl Körner von gleicher als auch solche von verschiedener Gestalt und Größe vorhanden sein.

Fig. P^2. Spindelförmige Pigmentkörner.

Im distalen Teil der dunkelrötlich-braunen Brustfedern sind in den Radien hauptsächlich rotbräunliche und goldgelbe Pigmentkugeln vorhanden. Es findet sich ein kontinuierlicher Farbenübergang der Körner von Goldgelb zu Chrysodin, Rostbraun und Dunkelrotbraun. Zuweilen sind auch noch kleine Körner rein schwarzer Farbe von 0,3—1,3 μ Durchmesser eingelagert. Die goldgelben und rotbraunen Körner übertreffen die schokoladenfarbigen und schwarzbraunen Körner der Brust- und Kopffedern noch beträchtlich an Größe. Messungen der Durchmesser ergeben z. B. folgende Werte: 1 — 1,5 — 2 — 2,8, sogar 3 und 4 μ.

Die Verteilung der Körner von verschiedener Gestalt und Größe in den einzelnen Zellen ist ganz verschieden. So können in einem Radius in den einzelnen Zellen nur goldgelbe große Körner von 2 μ, oder kleinere von 1 μ oder beide zugleich vorhanden sein. Dann können diese goldgelben gemischt sein mit kleineren schwärzlichen von ca. 0,8 μ Durchmesser, so daß die goldgelbe Farbe fast verschwindet. Ferner finden sich oft in einer Markzelle nur große dunkelrotbraune oder nur kleine dieser Farbe. Alle diese verschiedenen Körner können noch mit solchen vermischt sein, deren Größe und Farbe Zwischenstufen zwischen den soeben angegebenen darstellen. Eine Regelmäßigkeit läßt sich nirgends erkennen. Nur so viel steht fest, daß im distalen Teil der Feder die großen goldgelben und rostbraunen Pigmente überwiegen, die nach dem proxi-

malen Teil durch schwärzliche kleine Pigmentkörner erst überlagert und dann völlig verdrängt werden. Diese schwärzlichen Pigmentkörner gehen wieder in bräunliche, dianilorange- und primulinfarbige über.

Sehr gut läßt sich die Farbe der Körner auf Schnittserien erkennen, da Schnitte von 2 μ Gewähr leisten, daß die Pigmente nur in sehr dünner Lage vorhanden sind und infolgedessen keine Verdunklung der Farbe durch dichte Übereinanderlagerung eintritt.

Man erkennt, daß im Ramus die helleren chrysodinfarbigen Körner immer in den Markzellen des Ramus vorhanden sind, während in der Rindenschicht sich dunklere Farbkörner finden. Wenn in der äußeren Hornsubstanz nur noch schokoladenfarbige oder schwärzliche Körner sich vorfinden, so sind immer noch in den Markzellen gelbliche vorhanden (Taf. 22 Fig. 2 u. 3). Deutliche Farbenübergänge kann man wahrnehmen.

Wie die übrigen Pigmente, so ist auch das gelbe in regelmäßigen Körnern ausgebildet und geht über Chromgelb, Chrysodin, Rotbraun in Dunkelrotbraun über, die sämtlich dieselben Größenunterschiede aufweisen.

Nach dem proximalen Federteil zu findet auch in den Rami eine Zunahme von rein schwärzlichem Pigment statt, das wiederum in feinkörniges dianilorangefarbiges und bräunliches übergeht.

Bei *Columba livia* gehen die rötlich-grauen dunklen Brustfedern in die blaugrauen Bauchfedern über. Die Zahl der goldgelben und rostbraunen Körner wird immer geringer. Nur vereinzelt finden sich noch einige kleine chromgelbe und rostbraune Körner, vermischt mit der großen Anzahl schokoladenfarbiger und schwarzbrauner der verschiedensten Größe. Die Körnerdurchmesser sind meist 1—1,8, höchst selten über 2 μ.

Bei *Columba palumbus* finden die gelben und rostbraunen Körner stärkere Entwicklung in den Brustfedern. Hier finden sich dunklere und hellere rötlich-graue Brust- und Bauchfedern.

Während in den Brustfedern der Felsentaube mehr oder weniger immer eine Beimischung von dunkelfarbigen Körnern vorhanden war, enthalten hier Rami und Radii der Federspitze nur goldgelbes, großes, kugliges Pigment, das die oben erwähnten Abplattungen sehr deutlich erkennen läßt, das aber nur wenige Übergänge zu ovalen, wetzstein- und stäbchenförmigen Körnern aufweist. Körner über 2 μ Durchmesser finden sich hier sehr häufig und überwiegen zum Teil alle anderen.

In der Spitze der Rami sind im Inneren der Markzellen Körner vorhanden, die ungefähr die Farbe Flavophosphin aufweisen; in der äußeren Hornrinde sind Übergänge der goldgelben zu chrysodinfarbigen vorhanden (Taf. 22 Fig. 1). Nach dem proximalen Federteil findet eine immer größere Zunahme an dunkelfarbigen Körnern statt. Es finden sich in der Hornrinde nur noch kleinere rotbräunliche, schokoladenfarbige und schwarze, während in den Markzellen immer noch gelbliche vorhanden sind. Der Farbübergang Flavophosphingelb zu Goldgelb, Rötlich-braun, Rostbraun und Dunkelbraun erfolgt kontinuierlich. Auf der beigegebenen Tafel ist versucht worden, einige der Farbübergänge wiederzugeben (Taf. 22).

Nach dem proximalen Federteil zu wird das Pigment wieder feinkörnig erst schwärzlich und schließlich bräunlich wie im proximalen Teil der Kopffeder.

In den Federn, die zwischen den rötlich-grauen Brustfedern und den bräunlich-grauen Flügeldeckfedern stehen, ist noch chromgelbes und chrysodinfarbiges Pigment vorhanden. In einer Radiuszelle kann man nur chromgelbe oder rotbräunliche Körner wahrnehmen oder aber solche vermischt mit schokoladenfarbigen bis schwärzlichen. Es überwiegen hier schon die dunkleren Pigmentkörner. Nach dem proximalen Federteil zu findet wie in den anderen Federn ein Übergang zu bräunlichem und feinkörnigem Pigment statt.

In den Flügeldeckfedern sind chromgelbe und rostbraune Körner nicht mehr vorhanden; es finden sich hauptsächlich runde Körner dunkelbräunlicher Farbe, die auch Übergänge zu Dianilorange und Primulin aufweisen. Ihre Größe übersteigt nicht 1,4, meist finden sich solche von 1 μ Durchmesser.

Stäbchenförmige Körner der oben angegebenen Farben von schmutzig Gelb bis Schwarz übergehend, finden sich hauptsächlich in den Radiusstellen ventral der eingetrockneten Kerne, allein oder mit Körnern vermischt, deren Gestalt Übergänge zu den runden aufweist. Die Größe der Stäbchen ist wieder ganz variabel (z. B. $2 : 0{,}2 - 2{,}2 : 0{,}6$ und $1{,}5 : 1\ \mu$. Neben stäbchenförmigen finden sich auch noch wetzstein- und spindelförmige.

Was nun die Farben der Körner im braunen Teil der Schwungfedern und in den braunen Querbinden der Flügel anbetrifft, so stimmen sie mit denen der Flügeldeckfedern überein. Auch hier sind kontinuierliche Übergänge der Farben von Primulin über Dianilorange, Dunkelbraun bis Schwarz vorhanden.

Die Größe der kugligen Körner ist hier aber geringer als in

den Flügeldeckfedern; es finden sich hauptsächlich solche von 0,5 bis 0,8, während Körner über 1 μ Durchmesser nur selten vorhanden sind. Während in der Spitze kuglige Körner überwiegen, zeigen sich etwas proximalwärts Körner der verschiedensten Gestalt und Anordnungsweise (Fig. Q^2). Sehr zahlreich sind besonders die Stäbchen, die aber entgegen den Angaben von Strong auch hier nicht konstant sind. Sie weisen z. B. folgende Größen auf: 0,8 : 0,2 bis 0,8 : 0,4 — 1 : 0,3 — 1,2 : 0,3 μ. Nach dem proximalen Teil der Schwungfedern zu geht die bräunliche Färbung in eine bräunlich-graue über und zwar zuerst in der braunen Innenfahne.

Fig. Q^2.

Fig. R^2.

Fig. Q^2. Pigmentkörnergruppen aus dem braunen Teil der Schwungfedern. Imm. $^1/_{12}$, Ok. 12.

Fig. R^2. Übergang des feinkörnigen Pigments des braunen Teiles in großkörniges des bläulichen Teiles der Schwungfedern. Imm. $^1/_{12}$, Ok. 12.

Mit zunehmender gräulicher Färbung findet sich wieder größeres Pigment, und die später noch zu besprechende Anordnung der Pigmentkörner in Paketen tritt hier wieder stärker hervor. Pigmentkörner von 0,3—0,8 μ Durchmesser gehen allmählich in solche von ca. 1,4 μ Durchmesser über (Fig. R^2), die wieder dieselben Farbübergänge wie das feinkörnige Pigment aufweisen (von Primulingelb zu Schwarz). Allmählich geht die mehr bräunliche Farbe in eine schwarzbraune über, so daß die Pigmentkörner jetzt vollkommen denen in den blaugrauen Federn gleichen. Neben diesen größeren runden schwarzbraunen Körnern finden sich jedoch zuweilen stäbchenförmige von mehr bräunlicher Farbe.

Ganz an der Basis der Feder wird das Pigment wieder feinkörnig und zeigt wieder die Farbübergänge von Primulingelb zu Schwarzbraun.

Ähnliche Verhältnisse wie in den Schwungfedern finden sich in den Steuerfedern. Hier wird in der dunklen Endbinde eine schwärzere Färbung durch dichte Lagerung der dunkelbräunlichen Farbkörner erzielt.

Sehr häufig finden sich Zusammenballungen von vielen Pigmentkörnern oder Pigmentklumpen, die keine Körnerstruktur mehr erkennen lassen (Fig. N).

b) Über die Löslichkeit der Pigmentkörner.

Im Anschluß an die mikroskopische Untersuchung der Pigmente habe ich analog den Versuchen Miss DURHAM's die Löslichkeit der verschiedenen Pigmentkörner in einigen Reagenzien untersucht.

Miss DURHAM hatte drei verschiedene, durch keine Farbübergänge verbundene Pigmente in den Haaren der grauen Hausmaus gefunden. Die gelben Pigmente unterschieden sich von den schwarzen und schokoladenfarbigen durch ihre Löslichkeit in Zinnchlorid und Alkalien. Im ersteren blieben die schokoladenfarbigen und schwarzen ganz unverändert, im letzteren hinterließen sie einen Rückstand, der in keinem Reagens löslich war. Das gelbe Pigment löste sich völlig.

Ich habe zuerst Lösungsversuche mit Äther, Chloroform und Alkohol vorgenommen, um etwa vorhandene Lipochrome (Fettfarbstoffe) zu lösen. Jedoch zeigte es sich, daß sämtliche Pigmentformen der Felsentaube unverändert blieben.

Sodann habe ich Lösungsversuche mit Alkalien angestellt. Zu dünnen Schnitten durch die Federn der Felsentaube setzte ich kochende Pottasche- oder Kalilaugelösung und es zeigte sich, daß die chromgelben, chrysodinfarbigen rostbraunen bis dunkelrotbraunen Farbkörner schon bei geringerer Konzentration (2%) der Reagenzien in der angegebenen Reihenfolge in Lösung gehen, während alle übrigen Körner, speziell die primulingelben, schmutzig gelbbraunen, schokoladenfarbigen bis schwärzlichen Körner in alkalischer Lösung von geringer Konzentration unverändert bleiben und erst durch kochende konzentrierte Alkalienlösung (35%) teilweise gelöst wurden. Die helleren Farbkörner gehen in beiden Fällen vor den dunkleren in Lösung; die schmutzig gelben, braunen und schwarzen hinterlassen einen Rückstand, der sich gegenüber den Alkalien als unlöslich erwies.

Was die Löslichkeit der Farbkörner in Säuren anbetrifft, so ergaben sich hier ebenfalls wichtige Unterschiede. Kocht man einige

Zeit die rötlich-grauen Teile der Brustfedern in konzentrierter Schwefelsäure, so lösen sich die chromgelben, chrysodinfarbigen und dunkelrotbraunen Pigmentkörner vollkommen auf und bilden eine rötlich-trübe Lösung, während alle übrigen Körner erhalten bleiben.

In konzentrierter Salpetersäure erfolgt die Lösung der ersteren mit gelber Farbe.

Alle Pigmentkörner, die eine primulingelbe, dianilorange, bräunliche bis schwärzliche Färbung aufweisen, werden von konzentrierten Säuren nicht angegriffen. Die Hornsubstanz löst sich und die Pigmentkörner werden befreit. Man kann daher diese Methode zur Isolierung der Körner verwenden, um festzustellen, ob einzelne Pigmentkörner miteinander verschmolzen sind (s. oben). Die Form der Körner wird durch die Behandlung mit Säuren jedoch mehr oder weniger verändert (Gortner).

Auf Grund dieser Lösungsversuche kann man vielleicht schon die Vermutung aussprechen, daß wir es hier, wie in den Pferdehaaren, mit zweierlei Pigmenten, nämlich Melanoproteiden und echten Melaninen, zu tun haben, wenn wir nach Gortner unter Melanoproteiden solche Pigmente verstehen, die Körnergestalt aufweisen und in konzentrierten Säuren und verdünnten Alkalien löslich sind. Die chromgelben, chrysodinfarbigen, rotbraunen Pigmente wären Melanoproteide, während alle übrigen Pigmente echte Melanine wären.

Im Gegensatz zu den von Durham untersuchten Pigmenten der Haare der wildfarbigen Hausmaus sind hier bei den Pigmentkörnern in den Federn der „wildfarbigen“ Taube kontinuierliche Übergänge zwischen den verschieden gefärbten Pigmentkörnern vorhanden, d. h. Übergänge innerhalb der beiden Reihen der löslichen und unlöslichen Pigmentkörner.

In den beiden Reihen sind die Farbübergänge kontinuierlich, ähnlich wie es Holmes-Loomis von den Farbstoffen der Haare der Menschen festgestellt hat. In den Menschenhaaren sind nämlich zwei verschiedene Hauptpigmente vorhanden. Das eine ist diffus und geht kontinuierlich von Gelblich, Dunkelgoldgelb in Rotbraun und Dunkelrotbraun über, während das andere Pigment körnig ist und von Gelbbraun über Braun in Schwarz übergeht. Wenn beide vorhanden sind, so kann das bräunliche und schwärzliche das rötliche ganz überdecken, ähnlich wie wir es von den körnigen Pigmenten der rötlichen Brustfeder von *Columba livia* und *palumbus* gesehen haben. Der Unterschied zwischen den beiden Pigmentreihen der Federn der

Felsentaube und der Menschenhaare ist der, daß in den Taubenfedern auch die chromgelben, rostbraunen und rötlich-braunen Pigmente in Körnchen abgeschieden sind.[1])

c) Allgemeines über die Verteilung der Pigmentkörner in den Federn.

Was die Verteilung der Pigmentkörner im Schaft anbetrifft, so sind die hervorgewölbten Ecken, die Dorsal- und Ventralbalken (besonders deren Seiten und Mitte) durch stärkere Pigmentierung ausgezeichnet und heben sich, auch wenn nur spärliche Pigmentierung vorhanden ist, immer noch durch größere Pigmentansammlung hervor (Fig. C^1, G^1).

Von der Dorsal- und Ventralseite erstrecken sich über die Seitenflächen Pigmentablagerungen, die bei den Schwungfedern nur in der Spitze der Feder stark ausgebildet, bei den Steuerfedern schon in der distalen Hälfte der Feder vorhanden sind. Besonders in den Seitenrippen zieht sich das Pigment entlang.

Wie im Schaft, so sind auch in den Rami immer einige Stellen durch starke Pigmentierung ausgezeichnet, und zwar sind es hier die Gesimse, sowie die ventralen und dorsalen Verdickungen (Fig. X, Y, Z, A^1). Wird die Stärke der Pigmentierung der Rami nach dem proximalen Federteile immer geringer, so verschwindet das Pigment aus diesen Teilen in der angegebenen Reihenfolge.

Die dorsale Verdickung der Rami ist bei den Kopf-, Brust-, Flügeldeck-, Bauch- und Schwanzdeckfedern fast nur allein pigmentiert (Fig. G, J, K), während bei Schwung- und Steuerfedern auch die ventrale Verdickung eine Pigmentierung aufweist (Fig. X—A^1). In dem letzteren Falle können die Pigmentablagerungen der dorsalen und ventralen Verdickungen durch eine Pigmentierung der Seitenplatten verbunden sein.

Was nun die Verteilung der Pigmente in den Radien anbelangt, so sind hier die Hakenfasern in jeder Feder bedeutend stärker pigmentiert als die Bogenfasern. Die Pigmentierung der Teile der Hakenfasern nimmt, wenn die Pigmentierung im proximalen Teil der Feder allmählich schwächer wird, in folgender Reihe ab: Spitze der Radii, Ventrallamellen, dorsale Umbiegung und zuletzt die

1) Hierzu ist noch zu bemerken, daß sich in den Federn einer roten Trommeltaube ein rötlich-braunes Pigment findet, das ebenfalls nicht Körnchengestalt aufweist, sondern diffus verteilt ist.

kleinsten Zellen im Anfang des distalen Teiles. In den Bogenfasern nimmt die Pigmentierung vom proximalen zum distalen Teil gleichmäßig ab, in den Hakenfasern nimmt sie im Lamellenteil proximal-distalwärts ab, wird zu Beginn des Hakenteiles sehr stark und verläuft allmählich nach der Spitze der Faser.

Die einzelnen Körnerreihen können entweder zu Paketen vereinigt sein (z. B. in sämtlichen blaugrauen Federn Fig. Z[1]), oder sie sind gleichmäßig zerstreut über die ganze Zelle verteilt, wie in den braunen und schwärzlichen Federn (Fig. N). Die erstere Gruppierung findet sich immer in Radien, die grobes Pigment, die letztere in solchen, die nur feinkörniges enthalten.

Die Stärke der Pigmentierung ist in den einzelnen Zellen ganz verschieden, einzelne Zellen sind vollgepfropft mit Pigmentkörnern, andere enthalten nur wenige Pigmentreihen (Fig. B, C, D).

Die verschieden starke Pigmentierung kann man in den Radiuszellen fast sämtlicher Taubenfedern beobachten, besonders gut in den Brust- und Schwungfedern.

Auffallend ist die Rolle, die die eingetrockneten Kerne bei der Pigmentverteilung spielen. Wie schon Masha hervorgehoben hat, können sie sich durch stärkere Pigmentumlagerung oder -einlagerung auszeichnen (in den Radien der braunen und schwarzen Federn). Bei starker Pigmentierung tritt der Kern oft auch als heller Fleck hervor, oder auf der Höhe des Kernes findet sich in der Zelle eine schmale pigmentlose Zone, so daß die Pigmentierung in eine dorsal und eine ventral vom Kern gelegene zerfällt.

Es kann ferner aber auch nur auf einer dieser Seiten die Pigmentierung ausgebildet sein. In den dachförmigen Brustfederradii findet sich z. B. eine dorsal vom Kern gelegene und diesen halbmondförmig umfassende Pigmentierung (Fig. B—D). In anderen Fällen, wie in den Radien der Schwanzfedern, ist nur die ventral vom Kern gelegene Pigmentierung ausgebildet (Fig. N). Einen Überblick über die verschiedenen Pigmentierungsarten des Kernes gibt Fig. S[2].

d) Die spezielle Anordnung der Pigmentkörner.

Strong gibt an, daß in den Radien der Schwungfedern von *Sterna caspia* Melaninstäbchen parallel zur Achse der Radii angeordnet sind, während Haecker (1890) erwähnt, daß in den rötlichgrauen Brustfedern der Ringeltaube kuglige rostbraune Körner zwischen den Hornschichten und in den Radiussegmenten in perl-

schnurartigen, der Längsrichtung dieser Organe folgenden Reihen angeordnet sind.

Nach meinen Beobachtungen ergibt sich, daß im Schaft wie in den Rami alle Pigmentkörner in Reihen angeordnet sind, die parallel zur Achse des Schaftes und des Ramus verlaufen und gewöhnlich zu mehreren nebeneinander gelagert sind, so daß man auf Querschnitten ebenfalls reihenförmige oder spindelförmige Gruppen findet (Fig. X—A^1, G^1). Diese Pigmentkörnerreihen der Querschnitte der Schäfte wie auch der Rami zeigen meist einen ganz charakteristischen Verlauf.

An der Peripherie und an der durch die Markzellen gegebenen inneren Grenzlinie des Ramus und Schaftquerschnittes haben die Pigmentkörnerreihen die Gestalt von Äquidistantensystemen von diesen beiden Linien. Diese Kurvensysteme gehen allmählich ineinander über (Fig. Y u. G^1).

Die oben erwähnte Vereinigung der Körner zu Längsreihen und dieser wieder zu Gruppen findet sich in besonders charakteristischer Weise in den Seitenwänden der lamellenartigen Rami wieder. Jede dieser im Querschnitt spindelförmigen Gruppen ist scharf von den benachbarten getrennt und umfaßt einen elliptischen oder runden Fleck, der entweder pigmentfrei ist oder eine starke Pigmenteinlagerung oder -umlagerung aufweist (Fig. T^2). Diese Flecke erinnern an die von MASHA beschriebenen Zellkerne der Radiuszellen, die sich in gleicher Weise durch Pigmentierung hervorheben können. Vermutlich stellen auch hier diese ovalen oder runden Flecke die eingetrockneten oder verhornten Zellkerne dar.

Was nun die Anordnung der Pigmentkörner in den Radien anbelangt, so sind sie auch hier fast stets in Reihen parallel zu den Achsen der Radien gelagert, gleichgültig, ob das Pigment körnig oder stäbchenförmig, groß oder klein ist (Fig. N, Z^1), nur zuweilen, wenn das Pigment feinkörnig ist, erkennt man dicht an den Kernen der Radiuszellen einen anderen Verlauf der Pigmentkörnerreihen, indem nämlich diese konzentrisch um den Kern gelagert sind (Fig. S^2f).

Als Analogon zu der typischen Anordnungsweise der Pigmentkörner kann man vielleicht die spezifischen Niederschlagskurven anführen, die nach LIESEGANG bei Wirkung von Silbernitrat auf eine chromierte Gelatineplatte entstehen, wenn man auch zu beobachten hat, daß die meisten Pigmente als fertige Körner in die Rami und Radii eingeführt werden.

Bringt man das Silbernitrat in Gestalt beliebiger Linienfiguren auf die chromierte Gelatineplatte, „so entstehen rhythmische Niederschläge in Gestalt von Äquidistantensystemen nach innen und außen von den Silbernitratkurven“. Stehen mehrere dieser Silbernitratliniensysteme neben- oder ineinander, so erfolgt ein allmählicher Übergang des einen Liniensystems in das andere in ähnlicher Weise wie bei den durch die Pigmentreihen gebildeten Liniensystemen eines Ramus oder Schaftquerschnitts (vgl. Fig. U² u. G¹).

Außer der Anordnung findet auch die Abplattung der Pigment-

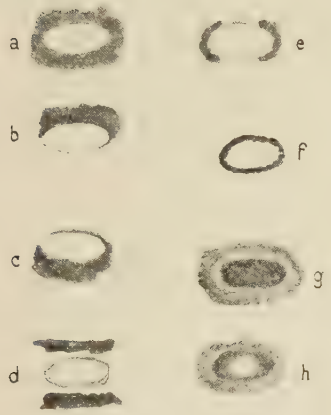

Fig. S².

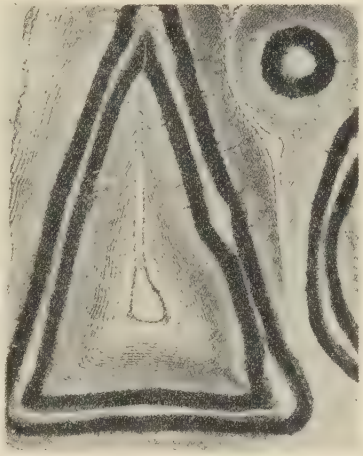

Fig. U².

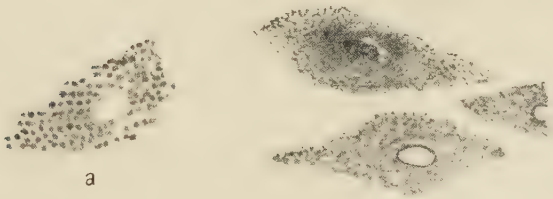

Fig. T².

Fig. S². Die verschiedenen Pigmentierungsarten der eingetrockneten Kerne in den Haken- und Bogenfaserzellen einer braunen Schwungfeder.

Fig. T². Pigmentgruppe aus den Seitenplatten der Rami der Schwung- und Schwanzfedern; a aus dem grauen Teil, b aus dem braunen Teil der Federn.

Fig. U². Niederschlagskurven bei Wirkung von Linienfiguren aus Silbernitrat auf eine chromierte Gelatineplatte (nach Gebhardt).

kugeln eine Parallele in der Wirkung von Silbernitrattropfen auf eine chromierte Gelatineplatte. Es entstehen bei diesen Versuchen in Kolloiden dieselben Abplattungen, besonders aber die typische Ausbildung von niederschlagsfreien spindelförmigen Spalträumen zwischen abgeplatteten Tropfen, wie wir sie bei den Pigmentkörnern gesehen haben (Fig. N²).

Sicherlich kann man im Hinblick auf diese Abplattungen der Pigmentkörner die Vermutung aussprechen, daß sie bei ihrer Entstehung dickflüssig oder vielleicht kolloidal gewesen sind.

e) Pigmentkörner und mechanische Beanspruchung.

Es kann im Anschluß an die Untersuchungen der Pigmente nun die Frage aufgeworfen werden, ob vielleicht die hier beschriebene charakteristische Verteilung der Pigmente mit der mechanischen Beanspruchung der Federn irgendwie in Beziehung steht.

Man erkennt ohne weiteres, daß diejenigen Stellen die stärkste und dichteste Pigmentierung aufweisen, die mechanisch am meisten beansprucht werden. Es sind dies die Gurtungen und Balken der Träger, die Ansatzrippen (Gesimse) im Schaft und Ramus, die Dorsalleisten und die torquierten Teile der Radien.

Die Bedeutung dieser Verteilung der Pigmentkörner auf die Stellen größter mechanischer Beanspruchung liegt vielleicht darin, daß die Festigkeit der Hornsubstanz erhöht wird. Durch die Einlagerung der Pigmentkörner wird die Elastizität geringer, die Festigkeit verstärkt, ähnlich wie dies bei dem elastischen Kautschuk durch die Einknetung von Schwefel im Vulkanisierungsprozeß geschieht.

Eine Stütze für die Ansicht, daß starke Pigmentierung die Festigkeit der Federn erhöht, kann in Beobachtungen Naumann's erbracht werden.

Naumann berichtet von einigen Vögeln, insbesondere vom großen Brachvogel (*Numenius arcuatus*), daß das Gefieder im Laufe des Sommers erstaunliche Veränderungen durch Abreiben und Abstoßen erfährt. „Die lichten Farben der Federränder sind im Herbste größtenteils verschwunden, weil sich die Kanten mit ihnen abgestoßen haben. Große Sägezackenflecke vom Rande gegen die Mitte der Feder vorspringend sind wie aus der Feder herausgebissen, während die dunkel gefärbten Teile der Feder mehr Widerstand geleistet zu haben scheinen und stehen geblieben sind."

Dient das ursprünglich als Nebenprodukt des Stoffwechsels entstandene Pigment zur Herstellung einer größeren Festigkeit der Feder, so erhalten auch einige Färbungen und Zeichnungen der Schwung- und Schwanzfedern eine gewisse Bedeutung. Man kann in vielen Vogelgruppen verfolgen, daß diese Federn eine stärkere braune oder schwarze Pigmentierung aufweisen, oder daß sich dunkle Querbinden am Ende der Schwanzfedern befinden (z. B. Tauben und Raubvögel).

Vielleicht besteht zwischen Pigmentierung und mechanischer Beanspruchung noch der Kausalzusammenhang, daß nämlich an Stellen stärkster Hornproduktion infolge erhöhten Stoffwechsels auch eine stärkere Pigmentierung auftritt.

Lebenslauf.

Ich, Adolf Wilhelm Walter Spöttel, wurde am 28. Mai 1892 zu Weißenfels a. S. als Sohn des Kgl. Eisenbahn-Obersekretärs L. Spöttel geboren. Da meine Eltern nach Halle übersiedelten, so besuchte ich dort die Vorschule und Oberrealschule der Francke-schen Stiftungen. Ostern 1910 bestand ich die Reifeprüfung und widmete mich hinfort dem Studium der Naturwissenschaften. Aus meinen zoologischen Studien ist die vorliegende Arbeit entstanden, auf Grund deren ich zur mündlichen Doktorprüfung zugelassen wurde, die ich dann am 11. November 1913 bestand.

G. Pätz'sche Buchdr. Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. d. S.